

단일 캐러젤의 처리능력에 관한 분석적 모형†

임석철*

Analytical Models for the Throughput Capacity of Single Carousel†

Suk-Chul Rim*

ABSTRACT

Carousel systems can be classified into unidirectional and bidirectional carousel, depending on the hardware structure. Bidirectional carousels again can be classified into reversible and irreversible carousel, depending on whether the reversal of direction is allowed or not during the process of an order. In this study, single carousel served by one operator is considered. Analytical models for the rotation distance to process an order of size n are developed for unidirectional and irreversible bidirectional cases. For reversible bidirectional and Nearest Neighbor Heuristic cases, simulation results of the average rotation distance are presented. Since the throughput capacity of carousel systems also depends upon the picking time of the operator; order size; and the rotation speed of carousel, the model considers the above three factors to express the throughput capacity of single carousel systems.

1. 서 론

자동창고는 그 형태에 따라 고정식 선반형과 이동식 선반형으로 구별할 수 있다. 고정식 선반형은 선반이 고정된 상태에서 운반장치(stacker crane)를 이용하여 물품을 저장 또는 불출하는 형태이며, 유닛로드형 및 미니로드형 자동창고가 이에 속한다. 반면에 이동식 선반형은 선반자체를

수직 또는 수평으로 회전시켜서 원하는 물품을 작업자 앞에 위치하게 한 후 작업자가 물품을 저장 또는 불출하는 방식이며, 흔히 캐러젤(carousel) 또는 로타리 랙(rotary rack)이라고 불리운다.

자동창고에 관한 연구결과는 유닛로드형 및 미니로드형 자동창고와 캐러젤에 대한 연구로 대별될 수 있으며, 각각은 다시 설계에 관한 연구와 운영에 관한 연구로 분류될 수 있다. 설계에 관한

† 본 연구는 아주대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음.

* 아주대학교 공과대학 산업공학과 교수

연구에서는 주로 자동창고의 평균이동거리에 따른 처리능력[4, 5, 6, 7, 12, 16]이나 구조설계[1, 2, 15, 17, 20]에 관하여 연구되었고, 운영에 관한 연구는 주로 저장정책[3, 8, 9, 13, 14, 22]이나 불출순서[3, 11] 등에 관하여 연구되었다. 이 밖에도 로봇트가 입출작업을 담당하는 자동화된 캐러젤 시스템에 관한 연구[10, 18, 19, 21]도 다수 있다.

본 연구에서 다루는 캐러젤은 한명의 작업자가 하나의 수평형 캐러젤의 입출고를 담당하는 경우로서, 부품이나 공정재고의 일시적인 저장과 불출, 또는 완제품에 대한 오더픽킹에 사용될 수 있다. 이와 같이 작업자의 수작업에 의한 캐러젤 시스템은 로봇을 사용하는 자동화된 캐러젤 시스템과 비교할 때 기술적으로 쉽고 작업에 유연성이 있으며, 설치비용이 저렴한 점 등의 이유로 우리나라 뿐만 아니라 외국에서도 중소기업체에 적합한 시스템이다.

캐러젤에 저장된 각 품목은 일반적으로 상이한 열(column)에 저장되어 있다. 캐러젤에서 열의 수가 충분히 클 경우 n 개의 품목을 불출하기 위한 캐러젤의 회전거리는 원주상의 임의의 n 점을 방문하는 거리에 수렴하게 된다. 캐러젤을 사용하는 자동창고에서는 불출주문을 처리함에 있어서 효율성을 위하여 각 품목을 별도로 처리하지 않고 일반적으로 n 개의 주문을 하나의 처리단위(order)로 묶어서 처리한다. 이때 캐러젤의 단위 시간당 처리능력, 즉 throughput은 n 개의 주문으로 구성된 하나의 order를 처리하는데 소요되는 시간에 의해서 결정된다. 원하는 품목이 작업자 앞에 도착한 이후 작업자가 그 품목을 불출하는데 소요되는 시간을 pick time이라고 하며 이는 일반적으로 작업순서와 무관하므로 throughput을 최대화하기 위해서는 n 개의 작업을 마치기 위하여 캐러젤이 회전해야 하는 거리를 최소화할 필요가 있다.

캐러젤의 운영방식은 회전부의 기계적인 특성에 따라서 일방향(unidirectional)과 양방향(bidirectional)으로 구분되며, 양방향 캐러젤은 하나의 order, 즉 n 개의 품목을 불출하는 동안 캐러젤 회전방향의 전환을 허용하는 전환식(reversible), 또는 회전방향전환을 허용치 않는 비전환식(irreversible)으로 운영될 수 있다. 본 연구에서 가정하는 사항으로는 첫째, 하나의 캐러젤을 한 명의 작업자가 전담하며, 하나의 order를 완료하기 전에는 다음 order를 수행하지 않는다. 둘째, 작업자는 일정한 I/O 위치에서 작업하며 pick time은 일정하다. 셋째, 캐러젤의 회전속도는 일정하다. 즉, 회전의 시작과 종료시의 가속속도는 무시한다. 넷째, n 개의 품목의 위치는 원주상의 임의의 상이한 n 개의 점의 위치로 표시된다. 즉, 연속형 캐러젤을 가정한다.

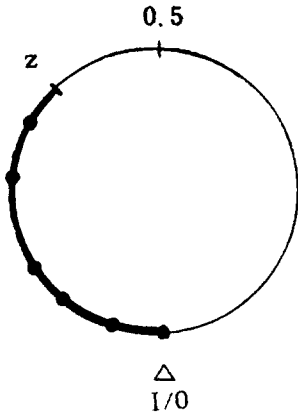
2. 캐러젤의 평균회전거리

2.1 일방향 캐러젤

일방향 캐러젤은 구동부의 기계적 구조에 의해서 캐러젤이 특정방향으로만 회전할수 있는 경우를 말한다. 이 경우 n 개의 품목을 불출하는데 필요한 회전거리는 n 개의 품목위치중 작업자의 현재위치, 즉 I/O지점으로부터 캐러젤의 회전방향으로 가장 먼 위치까지의 거리가 된다. 편의상 반시계방향의 회전을 가정하고, 캐러젤의 둘레길이를 단위길이, 즉 1로 놓으면 임의의 n 품목의 위치는 둘레길이가 1인 원주상의 임의의 n 점의 위치와 같으므로 [그림 1]에서 보듯이 캐러젤의 회전거리 Z 의 확률분포함수 $H_n(z)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H_n(Z) &= \text{Prob} [\text{rotation distance} \leq z] \\ &= \text{Prob} [\text{all of } n \text{ random points fall} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{in the range } (0, z)] \\ & = z^n, \text{ for } 0 \leq z \leq 1 \end{aligned} \quad (1)$$



[그림 1] 일방향형 캐러젤에서 임의의 다섯 품목의 위치와 캐러젤의 회전거리

따라서 n 개의 품목에 대한 일방향형 캐러젤의 회전거리 Z 의 확률밀도함수 $h_n(z)$ 와 기대치 $E_n(Z)$, 그리고 분산 $V_n(Z)$ 은 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} h_n(z) &= \partial H_n(z) / \partial z = nz^{n-1}, \\ & \text{for } 0 \leq z \leq 1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} E_n[Z] &= \int_0^1 zh_n(z) dz \\ &= \frac{n}{n+1}, \text{ for } n=1,2,3, \dots \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} V_n[Z] &= \int_0^1 (z - E_n[Z])^2 h_n(z) dz \\ &= \frac{n}{(n+1)^2(n+2)}, \text{ for } n=1,2,3, \dots \end{aligned} \quad (4)$$

Order size n 이 증가함에 따라서 $E_n(Z)$ 는 원주 길이 1에 수렴하고, 분산 $V_n(Z)$ 는 0에 수렴한다. 또한 식(3)으로부터 한 품목당 평균회전거리는 $1/(n+1)$ 로서 이는 작업자의 현위치와 n 개의 품목위치로 원주길이 1을 등간격으로 분할한 거리와 같다.

2.2 양방향형 캐러젤

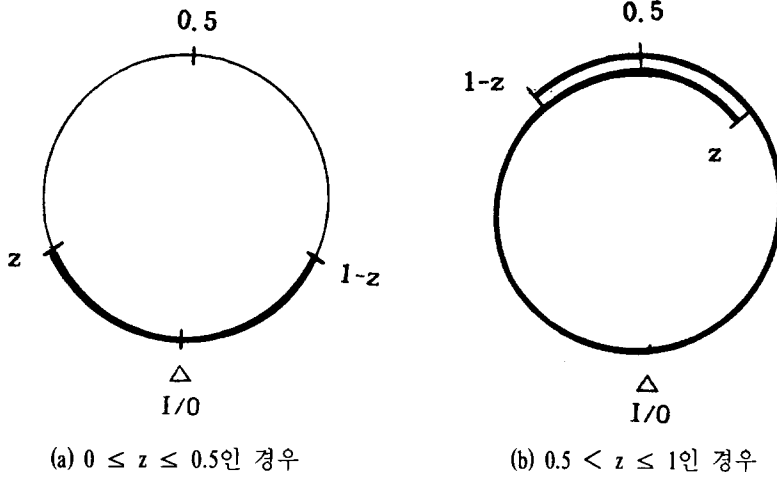
양방향형(bidirectional) 캐러젤은 불출품목의 위치분포에 따라 언제든지 원하는 방향으로 회전할 수 있는 캐러젤을 말한다. 그러나 양방향 회전이 기능적으로는 가능하더라도 n 개의 품목을 불출하는 하나의 order를 처리하는 동안은 시계방향 또는 반시계방향중 어느 한쪽으로만 회전하는 정책을 사용하는 경우를 非轉換式(irreversible)이라고 부른다. 비전환식은 캐러젤의 회전방향의 전환빈도를 억제함으로써 설비보호의 효과가 있고, 작업순서를 직관적으로 파악할 수 있는 등의 잇점이 있다.

2.2.1 양방향 비전환식 캐러젤

양방향 캐러젤을 비전환식으로 운영할 경우 n 개의 품목을 불출하는데 필요한 최소회전거리는 n 개의 품목위치중 작업자의 현재위치, 즉 I/O지점으로부터 캐러젤의 시계방향으로 가장 먼 위치와 반시계방향으로 가장 먼 위치중 짧은 거리와 같다. 캐러젤의 둘레길이를 1로 할때 캐러젤의 회전거리 Z 의 확률분포함수 $H_n(Z)$ 는 다음의 두 경우로 구분된다. 즉, 회전거리가 $1/2$ 를 넘지 않을 때는 [그림 2] (a)와 같이 n 개의 품목이 현재의 I/O위치로부터 어느 한쪽 반원에 모두 위치하는 경우이며, 이 때 캐러젤의 회전거리 Z 의 확률분포함수 $H_n(Z)$ 를 유도하기 위하여 z 를 I/O지점으로부터 시계방향으로의 거리라고 하면

$$\begin{aligned} H_n(z) &= \text{Prob}[\text{all of } n \text{ random points fall in} \\ & \quad (0, z) \text{ or } (1-z, 1)] \\ &= 2z^n, \text{ for } 0 \leq z \leq 0.5 \end{aligned} \quad (5)$$

로 표시된다. 반면에 회전거리가 $1/2$ 를 넘을때는



[그림 2] 양방향 비전환식 캐러젤의 회전거리

[그림 2] (b)와 같이 구간 (1-z, z)가 두번 고려되므로 식(6)과 같이 표시된다.

$$H_n(z) = \text{Prob}[\text{all of } n \text{ random points fall in } (0, z) \text{ or } (1-z, 1)] - \text{Prob}[\text{all of } n \text{ random points fall in } (1-z, z)] = 2z^n - (2z-1)^n, \text{ for } 0.5 < z \leq 1 \quad (6)$$

따라서 order size가 n인 양방향 비전환식 캐러젤의 회전거리 Z의 확률분포함수 $H_n(z)$, 확률밀도함수 $h_n(z)$, 기대치 $E_n(Z)$, 그리고 분산 $V_n(Z)$ 은 각각 식(7), (8), (9), (10)과 같이 표시되며, 이 경우에도 n이 증가함에 따라서 $E_n(Z)$ 는 역시원주길이 1에 수렴하고, 분산 $V_n(Z)$ 는 0에 수렴한다.

$$H_n(z) = \begin{cases} 2z^n, & \text{for } 0 \leq z \leq 0.5 \\ 2z^n - (2z-1)^n, & \text{for } 0.5 < z \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

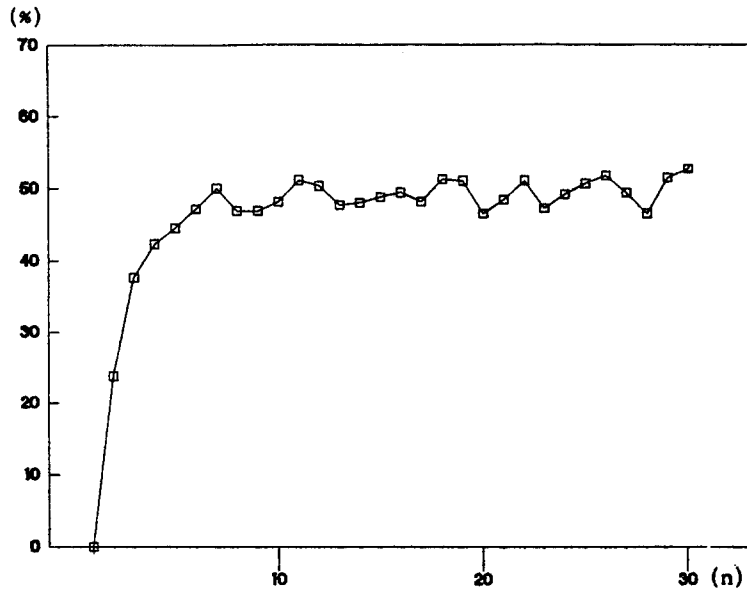
$$h_n(z) = \begin{cases} 2nz^{n-1}, & \text{for } 0 \leq z \leq 0.5 \\ 2nz^{n-1} - 2n(2z-1)^{n-1}, & \text{for } 0.5 < z \leq 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$E_n[Z] = \int_0^1 zh_n(z)dz = \int_0^{0.5} 2nz^n dz + \int_{0.5}^1 \{2nz^n - 2n(2z-1)^{n-1}\} dz = \frac{2n-1}{2n+2}, \text{ for } n=1,2,3,\dots \quad (9)$$

$$v_n[Z] = \int_0^1 (z - E_n[Z])^2 h_n(z) dz = \int_0^{0.5} (z - E_n[Z])^2 2nz^{n-1} dz + \int_{0.5}^1 (z - E_n[Z])^2 \{2nz^{n-1} - 2n(2z-1)^{n-1}\} dz = \frac{5n-4}{4(n+1)^2(n+2)}, \text{ for } n=1,2,3,\dots \quad (10)$$

2.2.2 양방향 전환식 캐러젤

n개의 품목을 불출하는 동안 필요하면 언제든지 캐러젤의 회전방향변경을 허용하는 경우를 전환식(reversible)이라고 하며, 이 경우의 캐러젤의 평균회전거리는 closed form으로 구하기가 매우 어렵다. 그러나 캐러젤의 회전방향을 전환한다 하더라도 두번 이상을 전환해서는 최적해가 될수 없으며, 입출고점으로부터 반회전 이상을 지난 점에서 방향을 전환하면 역시 최적해가 될수 없기 때문에 최적해를 찾기 위해서는 n개의 지점에서



[그림 3] 전환식 캐러젤에서 최적경로가 회전방향의 전환을 포함하는 확률(%)

각각 단 한번 방향전환을 하는 경우와, 방향전환 없이 두 방향 중 어느 한 방향으로 n개의 품목을 불출하는 경우 등 모두 (n+2)가지의 경로를 비교하여 이중 최단거리를 선택하면 최적해를 얻는다.

주어진 n품목의 위치에 대하여 그 최적불출순서가 캐러젤의 회전방향전환(reversal)을 포함하는지의 여부는 흥미로운 질문이다. n=1일때는 방향전환 자체가 불필요하지만 n=2일때는 두 품목의 저장위치가 I/O를 중심으로 양쪽 가까운 곳에 위치한 경우 최적순서는 두 품목중 I/O에서 가까운 쪽을 먼저 불출한 후 방향을 전환하여 나머지 품목을 불출하는 최적경로를 쉽게 생각할 수 있다.

그러나 n이 증가함에 따라 최적경로가 방향전환을 포함할지의 여부는 직관적으로는 쉽게 판단되지 않는다. [그림 3]은 n이 증가함에 따라서 최적경로가 방향전환을 포함하는 빈도를 컴퓨터

시뮬레이션으로 구한 것이다. n=2의 경우는 최적경로중 평균 23.8%가 회전방향을 전환하는 경로이지만 n이 증가함에 따라 이 빈도는 점차 높아져서 n이 10을 넘으면 그 확률은 50%에 수렴하는 것으로 나타났다.

2.2.3 Nearest Neighbor Heuristic (NNH)

Nearest Neighbor Heuristic은 작업자의 현재 위치로부터 방향에 관계없이 가장 가까이 위치한 품목을 처리하는 것을 반복하는 방법이며, n=2인 경우 NNH는 양방향 전환식 운영과 그 결과가 항상 동일하다. 양방향 전환식의 경우와 NNH 경우는 캐러젤의 회전거리를 closed form으로 구할 수 없어서 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 캐러젤의 평균회전거리를 측정하였다. 특정한 n값에 대해서 (0,1)사이의 난수를 n개 발생시킨 후, 이를 원주상의 n개 품목의 위치로 간주하고, 전환식의

〈표 1〉 Order size에 따른 운영방식별 캐러젤 평균회전거리
(괄호안은 최적해에 대한 증가폭(%))

order size (n)	평 균 회 전 거 리			
	일 방 형 ⁽¹⁾	양 방 형		
		비 전 환 식 ⁽²⁾	전 환 식 ⁽³⁾	N N H ⁽⁴⁾
1	0.5000(98.9)	0.2500(-0.1)	0.2514	0.2514(0)
2	0.6667(58.4)	0.5000(18.8)	0.4208	0.4208(0)
3	0.7500(41.4)	0.6250(17.9)	0.5303	0.5364(1.2)
4	0.8000(34.0)	0.7000(17.6)	0.5970	0.6057(1.5)
5	0.8333(25.0)	0.7500(12.5)	0.6666	0.6804(2.1)
6	0.8571(22.8)	0.7857(12.5)	0.6982	0.7133(2.2)
7	0.8750(18.7)	0.8125(10.2)	0.7373	0.7535(2.2)
8	0.8889(16.8)	0.8333(9.1)	0.7638	0.7765(1.7)
9	0.9000(14.5)	0.8500(8.2)	0.7858	0.7978(1.5)
10	0.9091(12.9)	0.8636(7.3)	0.8050	0.8160(1.4)
11	0.9167(12.0)	0.8750(6.9)	0.8187	0.8311(1.5)
12	0.9231(10.9)	0.8846(6.3)	0.8325	0.8430(1.3)
13	0.9286(9.4)	0.8929(5.2)	0.8490	0.8592(1.2)
14	0.9333(9.2)	0.9000(5.3)	0.8547	0.8648(1.2)
15	0.9375(8.3)	0.9063(4.7)	0.8655	0.8758(1.2)
16	0.9412(7.8)	0.9118(4.4)	0.8735	0.8817(0.9)
17	0.9444(7.1)	0.9167(4.0)	0.8816	0.8885(0.8)
18	0.9474(7.1)	0.9211(4.1)	0.8849	0.8937(1.0)
19	0.9500(6.3)	0.9250(3.5)	0.8937	0.9011(0.8)
20	0.9524(6.3)	0.9286(3.6)	0.8959	0.9036(0.9)
21	0.9546(5.7)	0.9318(3.2)	0.9030	0.9095(0.7)
22	0.9565(6.0)	0.9348(3.6)	0.9025	0.9094(0.8)
23	0.9583(5.0)	0.9375(2.7)	0.9129	0.9185(0.6)
24	0.9600(4.8)	0.9400(2.7)	0.9157	0.9223(0.7)
25	0.9615(4.9)	0.9423(2.7)	0.9171	0.9237(0.7)
26	0.9630(5.0)	0.9444(2.9)	0.9178	0.9251(0.8)
27	0.9644(4.6)	0.9464(2.6)	0.9224	0.9276(0.6)
28	0.9655(4.3)	0.9483(2.4)	0.9257	0.9312(0.6)
29	0.9667(4.5)	0.9500(2.6)	0.9255	0.9321(0.7)
30	0.9677(3.9)	0.9516(2.1)	0.9317	0.9365(0.5)

$$(1) E_n[Z] = \frac{n}{(n+1)}$$

$$(2) E_n[Z] = \frac{2n-1}{2n+2}$$

(3), (4) : 컴퓨터 시뮬레이션의 결과

(3) 최적해 : n=1인 경우는 0.2500이 되어야하나 시뮬레이션의 특성상 편차가 나타났음.

(4) Nearest Neighbor Heuristic

경우는 $(n+2)$ 가지의 불출경로의 회전거리를 각각 계산하여 그 중 최단거리를 주는 경로를 최적해로 선택한다. NNH의 경우는 작업자의 위치로부터 가장 가까운 품목을 처리하는 것을 반복함으로써 총 회전거리를 측정한다.

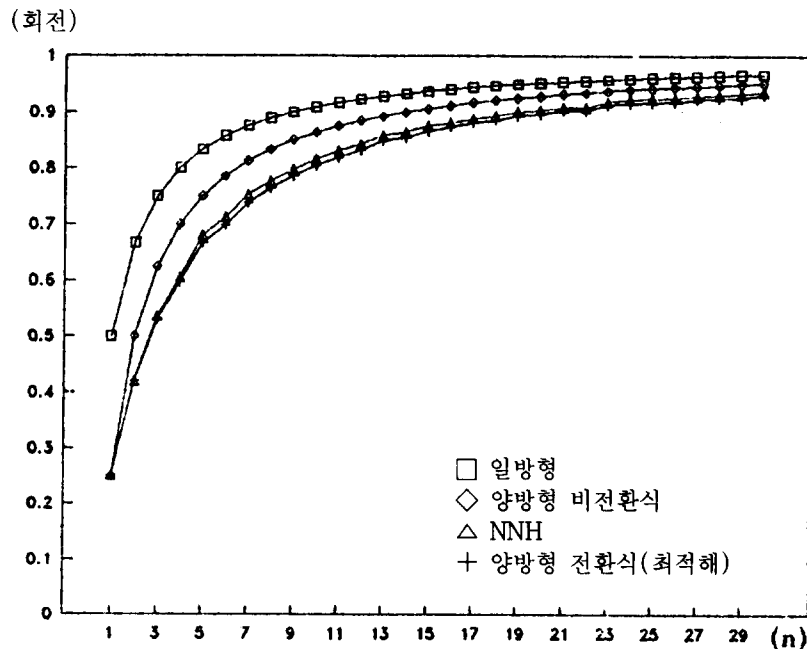
1부터 30까지의 n 값에 대하여 각각 1000개의 order를 수행하여 캐러젤 회전거리의 평균치 및 분산을 구하였다. 한편, 일방향 및 양방향 비전환식의 경우는 n 값을 식(3)과 (9)에 각각 대입하여 평균회전거리를 구하였다. 이상의 네 가지 경우에 대한 캐러젤의 평균회전거리를 표 1에 정리하였으며 order size n 에 대하여 비교하면 [그림 4]와 같다.

<표 1>에서 보듯이 $n=2$ 일 때 NNH는 양방향 전환식, 즉 최적해와 항상 동일한 거리를 회전한다. 각 방식별 평균 회전거리가 최적해보다 얼마나 긴가를 [그림 5]에 나타내었다. 일방향 캐러젤

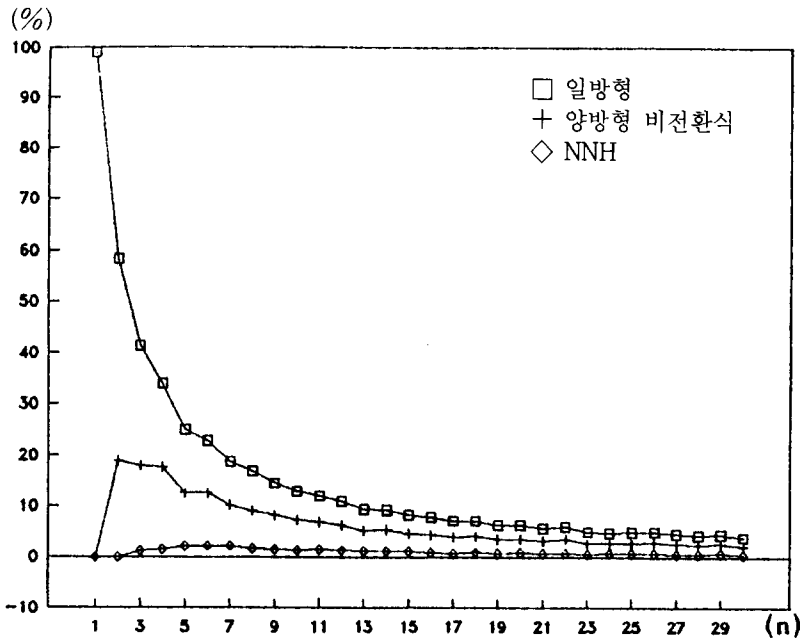
은 평균회전거리가 $n=1$ 때에 최적해의 두 배가 되며, n 이 증가함에 따라 증가폭이 감소하여 $n=7$ 일 때 비로서 최적해의 120% 미만으로 감소한다. 양방향 비전환식의 경우는 $n=2$ 일 때 최적해보다 평균회전거리가 18.8% 길고, n 이 증가함에 따라 증가폭이 감소하여 $n=8$ 일 때 비로서 최적해의 110% 미만으로 감소한다. NNH의 평균회전거리는 양방향 전환식으로 구한 최적해, 즉 최소회전거리와 비교할 때 모든 n 에 대하여 최대 2%를 넘지 않아서 경험적인 알고리즘으로서는 상당히 우수한 해를 제공하는 것으로 나타났다.

3. 처리능력

앞절에서는 각 방식에 대한 캐러젤의 평균회전거리를 수식으로 구하거나 또는 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 측정하였다. 그러나 캐러젤의 처리



[그림 4] 각 방식별 캐러젤의 평균회전거리



[그림 5] 최적해에 대한 각 방식별 캐러젤 평균회전거리 증가율(%)

능력(throughput capacity)은 단위시간당 캐러젤이 처리할 수 있는 품목수를 뜻하며, 이는 캐러젤의 회전거리 뿐만 아니라 작업자가 캐러젤의 선반으로부터 물품을 불출(picking)하는데 소요되는 시간(pick time) p 와, 캐러젤이 한바퀴 도는데 소요되는 시간 C 에 의해서도 좌우된다. 이 두 가지 요소를 추가로 고려하면 일방형인 경우와 양방향 비전환식의 경우 크기가 n 인 order를 처리하는데 소요되는 총시간의 기대치 U 와 I 는 각각 식(3)과 (9)로부터 다음과 같이 n, p, C 의 함수로 표시된다.

$$\begin{aligned}
 U &= E[\text{일방형 캐러젤에서 } n\text{품목을 처리하기 위한 총 소요시간}] \\
 &= np + nC / (n+1) \quad (11)
 \end{aligned}$$

$$I = E[\text{양방향 비전환식 캐러젤에서 } n\text{품목을 처리하기 위한 총 소요시간}]$$

$$= np + (2n-1)C / (2n+2) \quad (12)$$

주어진 모수 n, p, C 에 대하여 처리능력의 기대치 T_u 와 T_i 는 각각 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned}
 T_u &= E[\text{일방형 캐러젤의 단위시간당 처리능력}] \\
 &= n/U \quad (13)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_i &= E[\text{양방향 비전환식 캐러젤의 단위시간당 처리능력}] \\
 &= n/I \quad (14)
 \end{aligned}$$

한편, 양방향 비전환식의 경우와 NNH의 경우는 <표 1>에 나타난 평균회전거리 r 에 대하여 크기가 n 인 order를 처리하는데 소요되는 총시간의 기대치는 $(np+rC)$ 로 표시되며, 처리능력은 $n / (np+rC)$ 로 표시된다. 세 모수의 변화에 따라 처리능력의 기대치가 어떻게 변하는가를 알아보기

위해서 캐러젤의 1회전 소요시간(C)을 1분으로 하고, pick time(p)을 각각 $p=0.1$ 분과 $p=0.3$ 분으로 설정하여 처리능력을 각 운영방식별로 구하면 <표 2>와 같고, 이를 그래프로 나타내면 [그림 6]과 같다.([그림 6]에서 $p=0.3$ 분의 경우에는 운영방식에 따른 처리능력의 상대적 순서가 $p=0.1$ 분의 경우와 동일하므로 운영방식별 표시를 생략하였다.)

[그림 6]에서 보듯이 일반적으로 order size가 커지면 처리능력이 증가하게 된다. 또한, pick time이 상대적으로 짧을 때에는 평균처리능력이 운영방식에 따라 상당한 차이를 나타낸다. 예를

들면 $n=2$ 인 경우 일방형과 비전환식에 의한 캐러젤의 처리능력은 전환식에 의한 최대처리능력의 각각 71.6%와 88.7%에 그치며, $n=5$ 인 경우는 각각 87.5%와 93.3%로 증가하여 n 이 증가함에 따라 운영방식별 차이는 감소함을 알 수 있다.

한편 pick time이 상대적으로 길어지면 order size의 증가에 따른 처리능력 증가가 둔화될 뿐 아니라, 운영방식별 차이도 폭이 줄어들게 되는데, 이는 총 소요시간에서 pick time의 비중이 커짐에 따라 운영방식별 캐러젤 회전거리의 차이가 처리능력에 미치는 영향이 감소되기 때문이다.

<표 2> Order size에 따른 각 방식별 캐러젤의 평균처리능력
(단위: 분당 처리품목수)

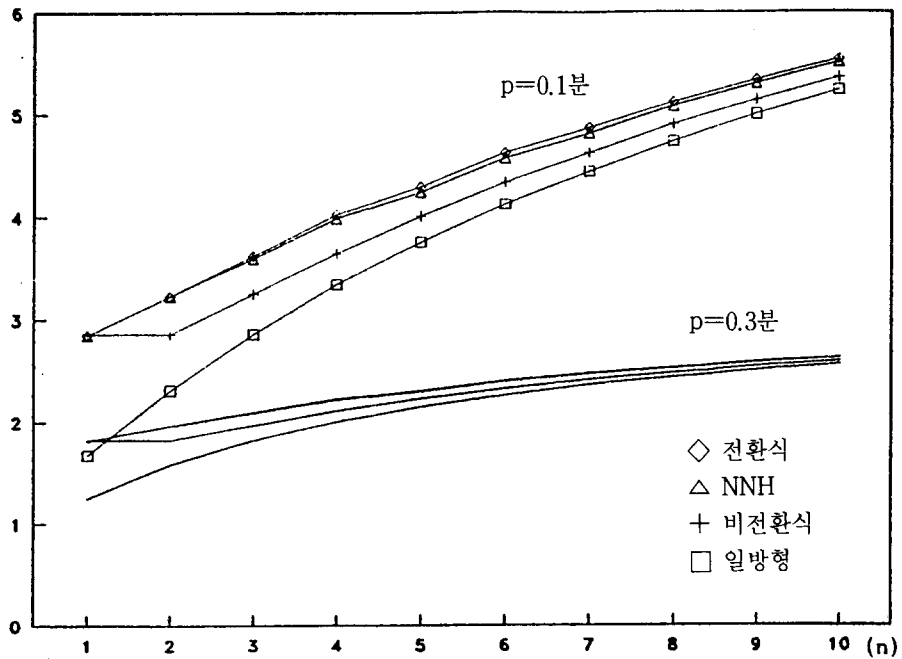
(1) $C=1$ 분, $p=0.1$ 분인 경우

Order Size (n)	평 균 처 리 능 력			
	일방형	양 방 형		
		비전환식	전환식	NNH
1	1.667	2.8571	2.8458	2.8458
2	2.3077	2.8571	3.2216	3.2216
3	2.8571	3.2432	3.6132	3.5868
4	3.3333	3.6364	4.0120	3.9773
5	3.7500	4.0000	4.2860	4.2359
6	4.1176	4.3299	4.6218	4.5686
7	4.4444	4.6281	4.8702	4.8160
8	4.7368	4.8980	5.1157	5.0745
9	5.0000	5.1429	5.3387	5.3010
10	5.2381	5.3659	5.5402	5.5066

(2) C=1분, p=0.3분인 경우

Order Size (n)	평 균 처 리 능 력			
	일방향	양 방 형		
		비전환식	전환식	NNH
1	1.2500	1.8182	1.8136	1.8136
2	1.5789	1.8182	1.9592	1.9592
3	1.8182	1.9672	2.0975	2.0886
4	2.0000	2.1053	2.2259	2.2152
5	2.1429	2.2222	2.3078	2.2932
6	2.2581	2.3204	2.4017	2.3873
7	2.3529	2.4034	2.4671	2.4531
8	2.4324	2.4742	2.5286	2.5185
9	2.5000	2.5352	2.5819	2.5730
10	2.5581	2.5882	2.6281	2.6205

(품목수/분)



[그림 6] n과 p에 따른 처리능력의 변화

4. 결 론

본 연구에서는 한명의 작업자가 하나의 캐러젤을 담당하는 경우에 대해서 일방향과 비전환식 양방향의 경우 n 개의 품목을 최단시간내에 불출하기 위한 캐러젤 회전거리의 기대치와 분산을 n 에 대한 closed form 함수로 나타내었다. 또한 양방향 전환식의 경우와 Nearest Neighbor Heuristic을 사용하는 경우의 평균회전거리를 시뮬레이션으로 측정하였다.

캐러젤의 처리능력은 회전거리뿐만 아니라 pick time과 캐러젤의 일회전시간에도 영향을 받으므로 이들을 고려한 실제의 처리능력을 모형화 하였으며, 대표적인 모수값들에 대한 운영방식별 평균처리능력을 산출, 비교하였다. Pick time이 상대적으로 길어질수록 운영방식별 처리능력의 차이가 감소하며, pick time이 캐러젤의 일회전시간의 10% 미만인 경우 대부분의 order size에 대하여 운영방식에 따라 처리능력에 상당한 차이가 나타났다.

감사문

본 연구의 내용중 양방향 비전환식 캐러젤 회전거리의 확률분포함수 유도에 관한 홍익대 이현찬 박사님의 조언에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Ashayeri, J., Gelders, L., and Van Wassenhove, L., "A Microcomputer-based Optimization Model for the Design of Automated Warehouses," International Journal of Productions Research, Vol.23, No.4, 825-839, 1985
2. Azadivar, F., "Minimum Cost Modular Design of Automated Warehousing Systems," Material Flow, Vol.4, pp.177-188, 1987
3. Bartholdi, J. J. and Platzman, L. K., "Retrieval Strategies for a Carousel Conveyor," IIE Transactions, Vol.18, No.6, pp. 166-173, 1986
4. Bozer, Y. A. and White, J. A., "Travel-Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems," IIE Transactions, Vol. 16, No.4, pp.329-337, 1984
5. Bozer, Y. A. and White, J. A., "Design and Performance Models for End-of-Aisle Order Picking Systems," Management Science, Vol.36, No.7, pp.852-866, 1990
6. Buley, D. T. and Knott, K., "Designing Vertical Carousels to Maximize Operator Utilization," Proceedings of 8th Conference on Computer and Industrial Engineering, pp.271-275, 1986
7. Foley, R. D., Frazelle, E. H., "Analytical Results for Miniload Throughput and the Distribution of Dual Command Travel Time," IIE Transactions, Vol.23, No.3, 273-281, 1991
8. Goetschalcks, M., "Storage and Retrieval Policies for Efficient Order Picking Operations," Unpublished Ph.D. Dissertation, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 1983
9. Graves, S. C., Hausman, W. H., and Schwarz, L. B., "Storage Retrieval Interleaving in Automatic Warehousing Systems," Management Science, Vol.23, pp.935-945,

- 1977
10. Han, M. H. and McGinnis, L. F., "Automated Work-In-Process Carousels : Modeling and Analysis," Technical Report 86-06, Material Handling Research Center, Georgia Institute of Technology, 1986
 11. Han, M. H., McGinnis, L. F., Shieh, J. S., and White, J. A., "On Sequencing Retrieval in an Automated Storage/Retrieval Systems," IIE Transactions, Vol. 19, No.3, pp.56-66, 1987
 12. Han, M. H., McGinnis, L. F., and White, J. A., "Analysis of Rotary Rack Operation," Material Flow, Vol.4, pp.283-293, 1988
 13. Hausman, W. H., Schwarz, L. B., and Graves, S. C., "Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems," Management Science, Vol.22, No.6, pp.629-638, 1976
 14. Hwang, H., Baek, W. J., and Lee, M. K., "Clustering Algorithms for Order Picking in an Automated Storage and Retrieval System," Int. J. Prod. Res., Vol.26, No.2, pp.189-201, 1988
 15. Hwang, H. and Ko, C. S., "A Study on Multi-Aisle System Served by a Single Storage/Retrieval Machine," Int. J. Prod. Res., Vol.26, No.11 pp.1727-1737, 1988
 16. Hwang, H. and Lee, S. B., "Travel Time Models Considering the Operating Characteristics of the Storage and Retrieval Machine," Int. J. Prod. Res., Vol.28, No. 10, pp.1779-1789, 1990
 17. Karasawa, Y., Nakayama, H., and Dohi, S., "Trade-off Analysis for Optimal Design of Automated Warehouses," International Journal of Productions Research, Vol.11, No.5, pp.567-576, 1980
 18. Lee, M. K., "Travel Time Model and Analysis for an Automated Work-in-process Carousel," Journal of Korean Institute of Industrial Engineers, Vol.15, No.1, pp.77-87, 1989
 19. Lee, M. K. and Hwang, H., "An Approach in the Design of a Unit-load Automated Carousel Storage Systems," Engineering Optimization, Vol.13, pp.197-210, 1988
 20. Mardix, I. and Sharp, G. P., "Cost and Efficiency Analysis of the Carousel Storage System," Technical Report Tr85-08, Material Handling Research Center, Georgia Institute of Technology, 1985
 21. Stern, H. I., "Part Location and Optimal Picking Rules for a Carousel Conveyor Automatic Storage and Retrieval System," Proceedings of 7th International Conference on Automation in Warehousing, 1986
 22. 하재원, 회전형 자동창고시스템에서의 입출고 정책, 박사학위 논문, 한국과학기술원 산업공학과 (1993)