

AutoMod를 이용한 오더피킹시스템의 능력산정 모델의 연구

A Performance Evaluation Model for Order Picking System Using AutoMod

황 홍석*, 조 규성*

Heung-Suk Hwang*, Gyu-Sung Cho*

* 동의대학교 산업공학과

Abstract

본 연구는 AutoMod를 이용한 오더피킹시스템의 최적설계 성능산정을 위한 모델의 연구로서 오더피킹 방법은 통로끝오더피킹(End-of-Aisle OP)의 방법을 사용하였다. 오더피킹 방법으로 시스템의 성능 산정을 위한 수리 모델과 이의 전산프로그램을 개발하였다. 수리 모델의 제한사항들을 보완하기 위하여 AutoMod를 이용한 시물레이션방법을 응용하고 과정을 보였다. 예제를 통해서 구해진 각 시스템의 오더피킹 능력산정에의 응용결과를 구하였고, 주어진 수리모델의 결과와 AutoMod를 이용한 시물레이션 방법으로 구한 결과를 도출하고 결과를 비교하여 보였다.

Keyword : Order-Picking, Storage and Retrieval System(S/R System)

1. 개 요

일반적으로 창고 내에서의 오더피킹시스템은 피킹방법과 총 저장면적의 할당문제와 관련이 크며 이러한 문제는 모두 오더피킹의 능력과 직접 관계된다. 오더피킹시스템의 처리능력은 주로 피킹방법과 기대운반시간(Expected Travel Time)과 피킹 지체시간 등에 따라 좌우된다. 다중피킹(Multi-Command System)의 경우는 주로 최소 운반거리와 밀접한 관계가 있다. 기본적인 오더피킹 시스템의 설계시 고려되어야 하는 사항은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 통로내 및 통로끝오더피킹(오더피킹 방법)
- 단일 오더피킹(Single Order) 및 다중오더피킹(Multi-Order)
- 피킹요원이 지역할당 및 전지역을 피킹하도록 하는 방안
- 별도의 저장지역과 피킹지역이 주어진 경우
- 각 규격, 포장 및 특성별로 취급품목을 구분할 경우(SKU 구분)
- 소요장비 및 인력의 명시
- 시스템의 구성 및 인력의 명시
- 기타

일반적으로 오더피킹에는 크게 2가지 방법이 있다. 첫 번째는 작업자가 시스템내의 해당 용기로 이동하여 주문에 맞추어 부품들을 피킹하는 방법이다. 용기들이 보통 통로를 따라 저장되어 있기 때문에, 이러한 유형의 시스템을

“통로내오더피킹(In-the-Aisle OP)”이라 부른다. 두 번째 방법은 “통로끝오더피킹 (End-of-Aisle OP)”이다. 이 방법에서는 해당 용기들을 통로 끝으로 운반하여 그 곳에서 필요한 수량만큼의 품목들을 끄집어낸다. 그리고 각 용기는 다시 시스템 내로 운반되어 저장된다. 통로끝오더피킹 시스템은 단위화물을 저장하고 반출한다는 점에서 단위화물 저장/반출 시스템과 유사한 것처럼 보이나, 보통 하나의 용기는 완전히 비워질 때까지 통로 끝으로 여러 번 반출된다는 점이 다르다. 단위화물 저장/반출 시스템에서는 일단 용기가 반출되면 그 용기는 시스템을 떠나게 된다.

본 연구에서는 이러한 오더피킹성능산정을 위하여 다음과 같이 통로끝오더피킹 수리모델과 Simulation방법을 사용하고 그 결과를 비교하였다.

— 수리모델

통로끝오더피킹시스템

— 시물레이션모델

AutoMod를 이용한 Modeling
결과 분석

2. 통로끝오더피킹시스템

기본적인 오더피킹시스템인 통로끝오더피킹시스템의 최적설계 대안을 위해서 다음과 같은 요인들에 의해서 좌우된다.[White (1980)]

- 취급품의 특성
- 물류소요 조건
- 경제성
- 조직환경
- 취급 품의 선정을 위한 Size 및 무게
- 저장장소의 폭 및 높이

본 연구에서 고려된 운송거리는 저장 및 피킹 장비를 고려하여 수직 및 수평을 동시에 이동하는 경우를 가정하였으며, 이를 위하여 다음과 같이 일반적으로 *l_{oo}-Norm*으로 알려진 Tchebyshev Travel을 고려하였다. (피킹 지점의 위치가 지역 내에 균등하게 분포, 방문 지점수는 무한대로 접근).

다음단계로 통로끝피킹방법을 사용할 경우의 시스템능력(Throughput)과 시스템 규모를 제시하였다. 이를 위한 전산프로그램을 개발하였으며 응용예제를 통하여 결과를 보였다.

통로끝오더피킹시스템을 제시하기 전에 먼저 일반적인 통로내오더피킹시스템을 그림 1과 같이 S/R machine에 사람이 탑승하여 피킹을 하고 이 시스템을 AutoMod로 시물레이션한 것이 다음과 같다.

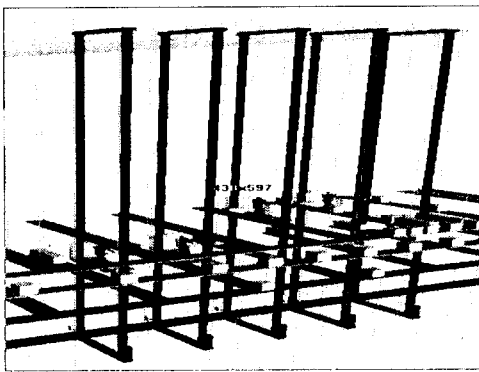


그림 1. 통로내오더피킹 시스템 (AutoMod 화면)

2.1 수리모델

본 연구에서는 먼저 다음과 같은 조건에서 통로끝피킹시스템의 성능산정방법을 제시하였다.

- 피킹을 위하여 S/R Machine은 피킹지점까지 수직 및 수평 동시이동으로 해당지점까지 접근한다.
- 하단좌측 코너에 위치한 I/O지점으로부터 시작하여 이 지점까지 되돌아오는

Route를 전제로 한다.

- 각 피킹 지점의 적절한 량의 피킹량이 만족된다고 가정
 - 각 통로는 모두 동일한 것으로 가정
 - 피킹 대상용기들은 저장랙에서 균일하게 분산 되어있다. (각 랙에 방문할 확률은 동일)
 - 작업자는 각 통로에 1명씩 지정되어있음.
 - 각 통로와 랙 형상은 동일하다.
 - 차량의 가속 및 감속부분은 무시한다..
- 일반적으로 통로끝오더피킹의 문제는 다음과 같은 모델로 표시될 수 있다.

Min 비용(Cost)
St. 물량처리능력제한
(Throughput Constraint)

본 연구에서는 저장 면적의 제한조건(Storage Space Constraint)하에서 다음과 같은 설계파라메타들이 고려되었다.

- S : 총저장면적(전체선반이 차지하는 면적)
- R : 총 처리요구량(시간당 피킹수)
- P : 평균 단위피킹 시간
- hv : 평균 수평이동속도
- vv : 평균 수직이동속도
- 4H : 한번 왕복시 요구되는 총 용기취급시간

통로끝오더피킹은 다음 그림과 같이 복합동작(Dual Command)을 기초로 운영된다.

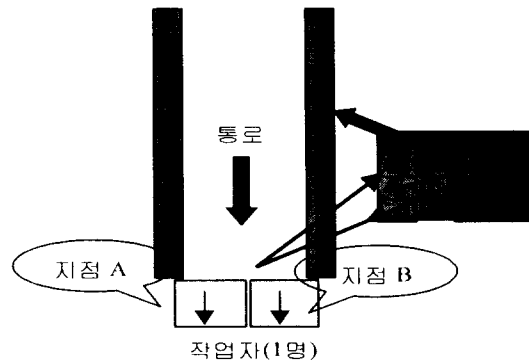


그림 2. 일반적인 통로끝오더피킹시스템 및 S/R machine의 Dual Command Cycle.

각 통로 당 동일 수의 피킹인원이 배치될 경우, 통로끝피킹모델은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & M \\ \text{St} \quad & E(Pu) \left(\frac{60}{P} \right) M \geq R \\ & 2xyM = S \end{aligned}$$

여기서, M : 피킹 인원의 장비 수
x, y : 선반의 길이 및 높이
E(PU) : 피킹인원 및 장비의 활용도

E(PIT) : 한번 운행시 기대되는 작업자 유휴 시간

$$E(\widehat{PIT}) = \int_{z=\hat{p}}^3 (z-\hat{p})f(z)dz$$

총 운행시간, 즉 RT의 정의에 의해서 얻을 수 있는 AS/R machine Cycle Time의 하한값은 다음과 같다.

$$RT = 2.0 \max(t_1, t_2) \quad (1)$$

(t_1 과 t_2 는 일정시간내에서의 반입과 반출 지점들)

누적 확률과 각 지점에서의 단일 방향 운송 시간의 확률밀도함수는 다음과 같이 표시된다.(Bozer and White[1984])

$$F(z) = z^2 \quad 0 \leq z \leq 1$$

$$f(z) = 2z \quad 0 \leq z \leq 1$$

식 (1)은 $RT/2 = \max(t_1, t_2)$ 와 같이 바꿀 수 있고 각 Cycle당 작업자의 유휴시간, E(PIT)는 다음과 같이 표현된다.

$$E(\widehat{PIT}) = 2 \int_{z=\frac{\hat{p}}{2}}^1 [z - (\hat{p}/2)]g(z)dz \quad (2)$$

$g(z) = RT/2$ 로 나타낼 수 있고, $g(z)$ 는 RT/2의 확률 밀도함수이다.

Guttman[1971]에 의하면

$$E(\widehat{PIT}) = (128 - 80\hat{p} + \hat{p}^5)/80 \text{ 이 된다. } (3)$$

여기서, \hat{p} 은 정규 피킹 시간이다.

$$\hat{p} = 0 \text{ 일 때는 } E(\widehat{PIT}) = 1.60$$

$$\hat{p} = 2 \text{ 일 때는 } E(\widehat{PIT}) = 0$$

즉 $\hat{p} = 2$ 가 될 때에는 S/R machine의 최대 사이클이 피킹시간이 되고 이때에 작업자는 유휴시간이 발생하지 않는다($E(\widehat{PIT}) = 0$).
작업자의 작업 효율

$$E(PU) = \hat{p} / [\hat{p} + E(\widehat{PIT})] \quad (4)$$

이 경우 작업자의 평균 유휴시간

$$E(\widehat{PIT}) = (128 - 80\hat{p} + \hat{p}^5)/80 \text{ if } 0 \leq \hat{p} \leq 2 \quad (5)$$

$$E(\widehat{PIT}) = 0.0 \text{ if } \hat{p} \geq 2.0$$

S/R Machine은 한번의 Cycle에서 4번의 반입/반출시간(Handling Time)을 가지게된다. 이 경우 반입/반출 시간을 고려하였을 때,

$$\tilde{p} = (p - 4H)/T = \hat{p} - 4\hat{H}$$

$$\hat{H} = H/T$$

평균 작업자 유휴시간은

$$E(\widehat{PIT}) = E(RT) + 4\hat{H} - \hat{p} \quad (6)$$

식 (6)을 식 (4)에 대입하고, 이때의

$$E(RT) = 1.6 \text{ 이므로,}$$

$$\text{작업자의 효율, } E(PU) = \hat{p} / (1.60 + 4\hat{H})$$

식 (5) 및 식 (4)으로부터

$$E(PU) = 80\hat{p} / (320\hat{H} + 128 + \hat{p}^5)$$

스케일 파라미터 T는 다음과 같이 주어진다 :

$$T = [S / (2M \cdot vv \cdot hv)]^{1/2}$$

$$\lambda = [S / (2 \cdot vv \cdot hv)]^{1/2},$$

따라서 $T = \lambda / \sqrt{M}$ 이 된다.

$$\tilde{p} = [(p - 4H)\sqrt{M}] / \lambda, \quad \hat{p} = p / T = \frac{p}{\lambda / \sqrt{M}}$$

$$= \frac{p\sqrt{M}}{\lambda}, \quad \tilde{p} = [(p - 4H) / T] = \hat{p} - 4\hat{H}$$

$\hat{H} = 0$ 일 때는 $\tilde{p} = \hat{p}$ 가 된다.

$$\hat{p} \text{는 평균 피킹 시간, } \hat{H} = \frac{H}{T}$$

본 연구에서 고려된 통로끝오더피킹시스템에서의 최소피킹요원, M은 식 $[(R \cdot p) / 60]$ 에 의해서 구할 수가 있다. 구해진 M값으로부터 고려된 시스템을 만족하는 최적의 작업자 수를 구하는 알고리즘은 다음과 같다:

단계 1 : $M = [(R \cdot p) / 60],$

$$\lambda = [S / (2 \cdot vv \cdot hv)]^{1/2}$$

단계 2 : $\tilde{p} = [(p - 4H)\sqrt{M}] / \lambda,$

$$\hat{p} = \frac{p\sqrt{M}}{\lambda}, \quad \hat{H} = \frac{H\sqrt{M}}{\lambda} = \frac{H}{T}$$

단계 3 :

$$E(PU) = \hat{p} / (1.60 + 4\hat{H}), \text{ if } \tilde{p} \leq 0$$

$$E(PU) = 80\hat{p} / (320\hat{H} + 128 + \hat{p}^5), \text{ if } 0 \leq \tilde{p} \leq 2.0$$

$$E(PU) = 1.00, \text{ if } \tilde{p} \geq 2.0$$

단계 4 : $E(PU)(60/p)M \geq R$ 일 경우,

단계 6을 계산하고, 그렇지 않을 경우

단계 5를 계산한다

단계 5 : $M \leftarrow M+1,$ 단계 2로 감

단계 6 : Stop

3.2 응용예제

앞에서 주어진 최소 피킹요원의 수를 구하는 알고리즘의 산정실예를 위하여 다음과 같은 실제 자료를 사용하여 최적의 시스템 및 피킹요원을 구하였다.

$$S = 72,000 \text{ sq.ft}$$

$$R = 300 \text{ picks/Hr}$$

$$p = 1.20 \text{ mins /pick}$$

$$hv = 450 \text{ ft/min}$$

$$vv = 90 \text{ ft/min}$$

$$4H = 0.60 \text{ mins}$$

위의 알고리즘에 의하여

$$M = [(R \cdot p)/60] = [(300 \cdot 1.2)/60] = 6 \text{명}$$

$$\lambda = [S/(2 \cdot vv \cdot hv)]^{1/2} = \sqrt{\frac{72000}{2 \times 450 \times 90}} = 0.9428$$

$$\hat{p} = [(p - 4H)\sqrt{M}]/\lambda = \frac{(1.2 - 0.6) \times \sqrt{6}}{0.9428} = 1.5588$$

$$\hat{p} = \frac{p\sqrt{M}}{\lambda} = \frac{1.2 \times \sqrt{6}}{0.9428} = 3.117692$$

$$4\hat{H} = \frac{4H\sqrt{M}}{\lambda} = \frac{4H}{T} = 1.558846$$

M	E(PU)(60/p)M	R
6	285.685	300
7	341.342	> 300

표 1. 작업자 수에 따른 출력값 비교

작업자 수	Picking Util. E(PU)	총 처리량	작업자의 유휴시간	실제유행 시간	Handling Time	평균 Pick 시간
6	0.9522	285.68	0.0781	1.558	1.5588	3.117
7	0.9752	341.34	0.0427	1.683	1.6837	3.367

2.3 시스템 규모 및 사용률

적정 작업자 수의 조건하에서 시스템 설계 파라메타(랙의 규모, 사용률)를 구하면 다음과 같다.

· 통로 숫자 $A = M$

· 랙의 높이, $y = [S/(2 \cdot M \cdot (\frac{hv}{vv}))]^{1/2}$

· 랙의 길이, $x = \frac{hv \cdot y}{vv}$

· 전체 시스템 사용률 TSU = $[(R \cdot p)/(60 \cdot M \cdot E(PU))] \cdot 100$

위에서 얻은 결과들을 이용하여 다음과 같은 파라메터값들을 구할수 있다.

Number of Aisles = 7

$$y = \sqrt{\frac{72000}{(2 \times 7 \times 5)}} = 32.07135$$

$$x = \frac{450 \times 32.07135}{90} = 160.35675$$

$$\text{TSU}(\%) = \left(\frac{300 \times 1.2}{60 \times 7 \times 0.975264}\right) \times 100 = 87.888329 \%$$

3. 시뮬레이션 모델

3.1 AutoMod 소개

AutoMod[2]는 공장 제조 및 물류 시스템 전용 시뮬레이션 시스템으로서, 기존의 시뮬레이션 시스템에서 3차원 Animation기능을 강화시킨 것이며, 구축된 시스템을 다양한 시점에서 화면으로 구현할 수 있는 시뮬레이터이며, 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- ① Model Reality
- ② 3D Graphic 및 Animation
- ③ 손쉬운 GUI 환경의 제공 및 모델 개발
- ④ 자유로운 animation 편집
- ⑤ Model Communication 기능
- ⑥ 확장된 통계적 기능
- ⑦ 공장자동화에 실제 경험을 바탕으로 개발한 "Expert Based" Movement Set을 사용자에게 제공

Movement Systems

- Conveyors
- AGVS
- Power & Free
- AS/RS
- Bridge Crane
- Kinematics

3.2 AutoMod를 이용한 통로끝오더픽킹

앞에서 제시한 통로끝오더픽킹의 수리모델에 의한 결과와 AutoMod로 구현을 하였을 때의 결과값을 비교를 하였다. AutoMod는 Physical Model과 Logical Model로 나뉘어져 있고, 먼저 장비나 기계같은 Physical 요소를 배치하고 각각의 Physical 요소를 연결하기 위하여 Logical Model을 사용한다. AutoMod는 S/R machine의 가속과 감속을 고려를 하여 피킹시스템을 구축을 하나 수리모델에는 가속과 감속을 고려할 수 없었다. 그 이유는 수리적 모델에서 감속과 가속을 고려를 하면 상당히 복잡한 식이 되기 때문이다. 수리모델의 결과와 비교하기 위하여 AutoMod를 이용시 가속과 감속을 최대한 적게 고려하였다.

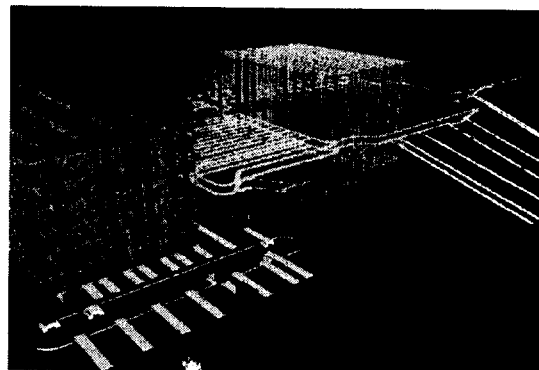


그림 3. AutoMod로 구현한 자동창고

그림 3은 AutoMod로 구현한 자동창고시스템의 한 예이다.

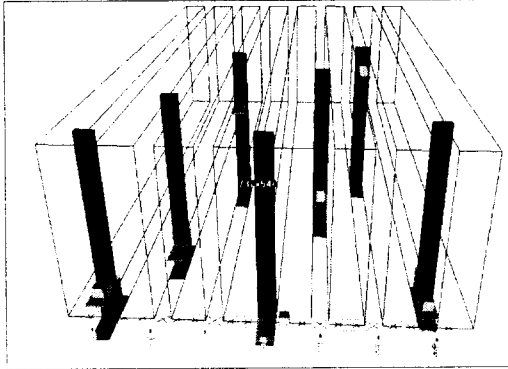


그림 4. AutoMod로 구현한 통로끝오더피킹 시물레이션 모델

AutoMod를 구현할 통로끝오더피킹은 응용예제의 값과 통로수가 7개인 것을 이용을 하였다. 그림 4는 AutoMod로 구현한 통로끝오더피킹시물레이션 모델이다.

3.3 시물레이션 출력값

통로수가 7개일때의 통로끝오더피킹시스템을 AutoMod로 시물레이션을 하였을 때 표2와 같은 출력값을 얻게 되었다.

표 2. 각 통로에서의 효율 및 물류량

Aisle No.	S/R Machine				AV_Handling Time (Sec)
	Delivering Rate	Retrieving Rate	Total Rate	AV_Travel Time(Sec)	
#1	32%	19.7%	51.7%	24.87	30.58
#2	34.6%	18.1%	52.7%	27.66	28.72
#3	30.5%	19.9%	50.4%	23.24	30.30
#4	33.3%	19.4%	52.7%	26.37	30.74
#5	33.5%	19.2%	52.7%	26.78	30.46
#6	32.6%	19.7%	52.3%	25.81	31.16
#7	32.6%	19.2%	51.8%	25.29	29.84
합계	32.72%	19.31%	52.04%	25.71	30.25

계속

S/R Machine		Picker		
Parking Rate	load/Unload 횟수	Util.	AV_Time (Sec)	처리량 (Unit)
48.3%	202	46%	70.67	51
47.3%	198	45%	72	49
49.6%	206	47.3%	71.26	52
47.3%	198	45%	72	49
47.3%	197	45%	72	49
47.7%	198	45.4%	71.26	50
48.2%	202	45.9%	72	50
47.95%	1,401	45.65%	71.59	350

3.4 비교 분석

동일한 예제를 사용하여 수리모델과 AutoMod를 이용한 시물레이션 결과를 비교 요약하면 표 3과 같다.

표 3. 수리모델과 AutoMod와의 비교

구분	Picking Util.	물류처리량(Hr)	작업 유희시간	실제운행시간(분)	Handling Time(분)
수리모델	0.975	341.34	0.427	1.6	1.68
AutoMod	0.9769	350.0	0.456	0.504	0.5

작업자의 사용률은 수리모델과 AutoMod값이 0.97, 0.975로 비슷한 결과이다. 단위시간당 물류처리량은 각각 341.34 unit 및 350 unit로 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 운행시간과 적하시간(Handling Time)은 AutoMod값이 매우 적다. 이는 가속 및 감속을 AutoMod에서는 고려를 하였지만 수리모델은 전체 평균 속도만을 고려하였기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 통로끝오더피킹시스템의 성능 산정을 위하여, 시스템설계 파라메타를 구하는 관계식을 유도하고 최소의 피킹요원과 최적의 피킹지역 면적으로 요구 피킹성능을 유지하도록 피킹시스템 설계파라메타들을 산출하였다. 이를 위한 전산 프로그램 개발과 실행을 들어 보았다. 그리고 통로끝오더피킹시스템에서 산출된 결과값과 시물레이션 Tool인 AutoMod를 사용하여 얻은 결과값을 비교를 해보았다. 각각의 설계파라메타들을 산출하기 위하여 가정사항을 정의를 하였지만, 이러한 가정들을 최소화하였을 때에는 보다 현실적인 문제를 해결할 수 있을 것이다. 통로 끝에서의 피킹시 피킹작업을 자동화하여 로봇을 사용할 경우 더욱 개선된 시스템이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. A. Arunapuram, " Vehicle Routing and Scheduling with Full Loads", Ph. D. Thesis, case Western Reserve University, 1993
2. AutoSimulations "AutoMod User's Manual" vol 1. Jan, 1998.
3. Bozer Y. A., [1978]. A Minimum Cost Design For An Automated Warehouse, Unpublished Master'S Thesis. Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia..
4. Lee H.F " Performance Analysis for Automated Storage And Retrieval Systems" IIE Transactions, Vol. 29, No1 , 1997.
5. 황홍석, 조규성, "통로내 오더피킹시스템의능력산정 모델", 1998 추계 학술대회 논문집, 동서대학교, 1998