

최적 경로와 최소 AGV 댓수를 갖는 AGVS에 관한 연구 -An optimal flow path design & minimum numbers of vehicle for AGVS -

吳明鎭^{*}
Ohh, Myoung Chin
金鎭弘^{**}
Kim, Jin Hong

Abstract

This paper presents that model 1 is to show an approach to determining unidirection or bidirection of the optimal flow path design, model 2 is to show the design of an AGV can determine the minimum number of required vehicles.

Our purposes of this article are that first, it is easy to see that computationally advanced efficient procedure with some pairwise comparisons, zero-one integer and northwest rule by using.

second, to determine the minimum number of vehicles in the layout for manufacturing facility, we used a coefficient ratio with moved numbers of loaded & unloaded vehicles between stations and available time of AGV's capacity for per shift per vehicle. Example is presented to demonstrate the approach.

1. 서론

생산시스템은 자재의 운반, 가공, 조립, 검사 그리고 운반작업 및 창고에 이르기 까지 거의 모든 작업에서 운반기구를 사용한다.

최근 제조시스템에서의 급격한 환경변화에 대응하기 위한 방안으로 생산시스템은 최대한의 유연성을 확보할 수 있는 FMS(Flexible Manufacturing System)를 들수 있으며 이를 실현하는데는 자동운반시스템으로써 AGV(Automated Guided Vehicles)가 널리 활용되고 있다.

AGV는 FMS 환경에서 물류시스템으로부터 유연성과 채택성을 제공하기 때문에 중요한 부분으로 두각을 나타내며 또한 FMS의 네트워크에서 동적으로 강한 수송방법을 제시한다. 그러나 AGV는 많은 비용을 수반하기 때문에 최단경로에 따른 최소의 AGV 댓수를 생각할 필요가 있다.

따라서 본연구의 목적은 첫째, 작업장과 작업장까지의 운반 물량과 거리를 쌍비교법과 정수 계획법에 적용하여 한 방향 혹은 양 방향의 최적경로를 결정하고 둘째, 최적경로를 기초로하여 AGV의 이동수와 시간을 수송계획법의 복서코너법으로 적용하여 최소의 AGV 댓수를 결정하는 각각의 모델을 설정하고 예제를 통해서 증명하고자 한다.

* 慶南專門大學 工業經營科 教授

** 慶南專門大學 工業經營科 講師

2. 용어의 정의 및 전제조건

1) 용어의 정의

N	from-to 차트의 엔트리 수
F_{lm}	pick-up 노드 l 에서 delivery 노드 m 까지의 수송 물량
P_{lm}	pick-up 노드 l 에서 delivery 노드 m 까지의 경로 길이
D_{ij}	노드 i 에서 인접한 노드 j 까지의 arc $i-j$ 길이
X_{ijm}	$\begin{cases} 1 & \text{pick-up 노드 } l \text{에서 delivery 노드 } m \text{까지의 경로에 포함되는} \\ & \text{arc } i-j \text{일 경우} \\ 0 & \text{그외} \end{cases}$
Z_{ij}	$\begin{cases} 1 & \text{arc } i \text{에서 arc } j \text{까지 방향이 결정된 경우} \\ 0 & \text{그외} \end{cases}$
L_l	노드 l 에서의 적재시간
U_m	노드 m 에서의 하적시간
t_{lm}	노드 l 에서 노드 m 까지 vehicle의 운반시간
T_{lm}	노드 l 에서의 적재시간과 노드 m 에서의 하적시간 그리고 노드 l 에서 노드 m 까지 적재된 vehicle에 대한 운반시간의 합
$\mathbb{N}[x]$	정수를 택하는 기호
a_l	노드 l 에서 최대공급 물량
b_m	노드 m 에서 최소요구 물량
A_l	노드 l 에서 텅빈 vehicle의 공급 가능한 수
B_m	노드 m 에서 텅빈 vehicle의 최소요구 수
V_l	노드 l 에서 최대공급 vehicle의 수
V_m	노드 m 에서 최소요구 vehicle의 수
V_{lm}	노드 l 에서 노드 m 까지 적재된 vehicle의 운행한 회수
X_{lm}	노드 l 에서 노드 m 까지 텅빈 vehicle의 운행한 회수

2) 전제 조건

- Vehicle은 구역간 한방향 혹은 양방향으로 이동한다.
- Zone 구역은 교차점에서 충돌을 방지하는데 사용한다.
- 구역간 적재와 하적에 대한 거리와 시간 그리고 구역간 이동될 물량의 자료는 사전에 알려져 있다.
- 충돌과 혼잡에 대한 계산은 무시한다.
- Node는 pick-up과 delivery 그리고 교차점을 의미한다.
- Arc는 두 인접사이의 node 즉, 인접한 두 node의 방향 가능성을 의미한다.

3. 본 론

Layout 경로문제는 우선 네트워크 경로 상호간 물량의 흐름 방향을 결정하는 것이고 AGV 댓수 결정은 처리능력과 AGV의 수송 능력시간의 상관관계에 의해서 구해진다.

모델1은 <Fig. 1>의 node-arc network와 <Table 1>과 <Table 2>의 from to chart를 ST(shortest routing) 알고리즘을 이용하여 최적 경로를 결정하고, 모델2는 <Table 6>의 작업장간 운행시간과 <Table 3>의 AGV 이동자료를 사용하여 Loaded Vehicles의 이동 댓수와 Unloaded Vehicles의 이동 댓수를 산출하여 Vehicle의 수송능력시간을 나누어 최소 AGV 댓수를 구한다.

1) <모델 1>

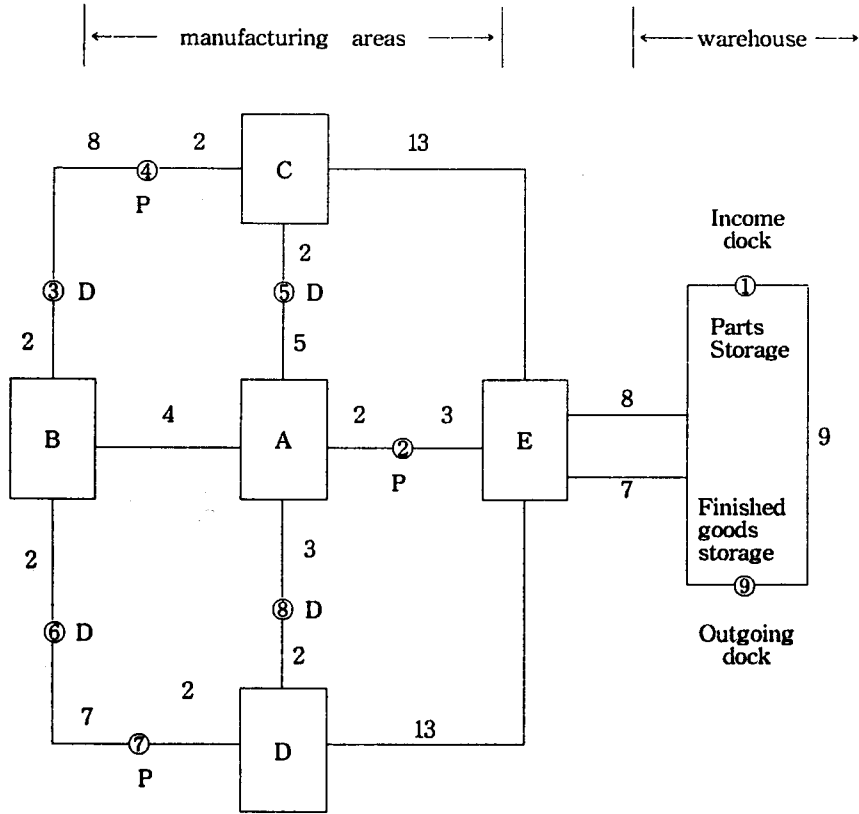
$$\begin{aligned}
 &MIN \quad \sum_{l,m} F_{lm} P_{lm} \\
 &S.T. \quad \sum X_{ijlm} D_{ij} = P_{lm} \quad \forall l, m \\
 &\quad \quad X_{ijlm} \leq Z_{ij} \quad \forall l, m \quad \forall i, j \\
 &\quad \quad Z_{ij} + Z_{ji} \geq 1 \quad \forall i, j \\
 &\quad \quad \sum_i Z_{ij} \geq 1 \quad \forall j \\
 &\quad \quad \sum_k Z_{ji} \geq 1 \quad \forall j \\
 &\quad \quad \sum X_{iklm} = 1 \quad \forall l, m \\
 &\quad \quad \sum X_{kmil} = 1 \quad \forall l, m \\
 &\quad \quad \sum X_{ijlm} = \sum X_{jklm} \quad \forall l, m \quad \forall j
 \end{aligned}$$

2) <모델 2>

$$\begin{aligned}
 &MIN \quad \sum_{l,m} (T_{lm} V_{lm} + t_{lm} X_{lm}) \\
 &S.T. \quad X_{lm} \geq 0 \quad \forall l, m \\
 &\quad \quad L_l \geq 0 \quad \forall l \\
 &\quad \quad U_m \geq 0 \quad \forall m \\
 &\quad \quad t_{lm} \geq 0 \quad \forall l, m \\
 &\quad \quad T_{lm} \geq 0 \quad \forall l, m \\
 &\quad \quad a_l \geq 0 \quad \forall l \\
 &\quad \quad b_m \geq 0 \quad \forall m \\
 &\quad \quad A_l \geq 0 \quad \forall l \\
 &\quad \quad B_m \geq 0 \quad \forall m \\
 &\quad \quad X_{lm} \geq 0 \quad \forall l, m \\
 &\quad \quad N \geq [x] \geq 0 \\
 &\quad \quad T_{lm} = L_l + U_m + t_{lm}
 \end{aligned}$$

3) 운반물량과 거리를 고려한 최적경로

<Fig. 1>과 같이 설정된 Layout에서 AGV는 node A, B, C, D 그리고 E의 네트워크를 통해서 하나의 node에서 다른 node로 한방향 혹은 양방향으로 이동한다. 그리고 반드시 ①에서 E로 이동된 AGV는 바로 E에서 ⑨로 이동하지 못한다.



(단, P : pick-up, D : delivery or drop-off)

<Fig. 1> 예제를 위한 layout

그리고 <Fig. 1>을 토대로 node와 node사이의 거리와 시간을 <Table 1>과 같이 설정하며

<Table 1> node와 node 사이의 거리와 시간

from	A	A	A	B	B	③	⑥	④	⑦	C	D	E	⑨	①	E	②	⑤	⑧
to	B	⑤	⑧	③	⑥	④	⑦	C	D	E	E	⑨	①	E	②	A	C	D
거리	4	5	3	2	2	8	7	2	2	13	13	7	9	8	3	2	2	2
시간	40	50	30	20	20	100	75	25	26	150	160	80	110	100	20	25	25	29

기존연구에서 주로 제시하는 F_{lm} 의 from to chart를 <Table 2>와 같이 나타내었으며, $F_{lm(l=m)}$ 일 경우 물량을 배정하지 못한다.

<Table 2> 수송물량

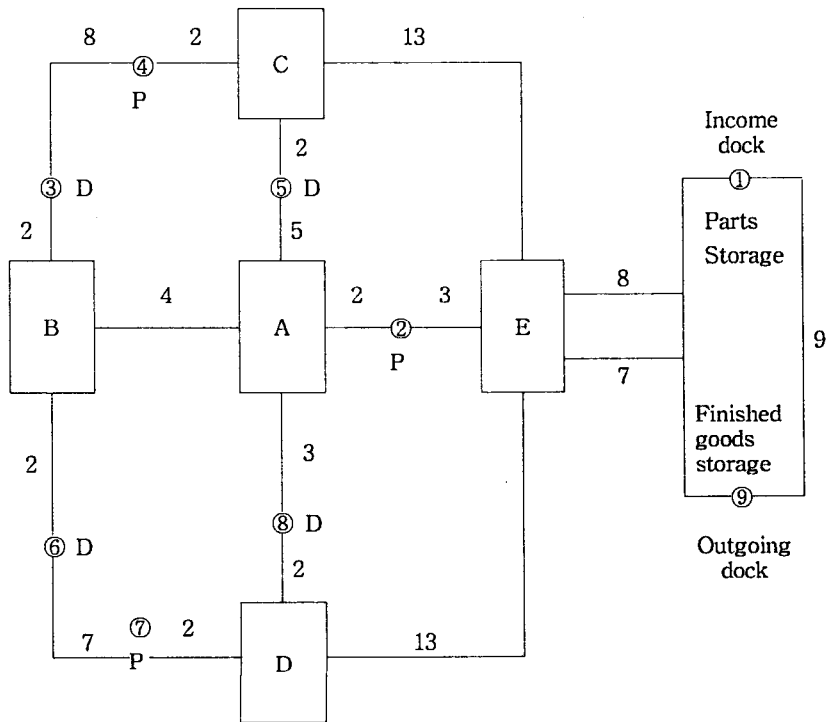
from \ to	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a_i
1	--	10		20		25	5			60
2		--	10		5			5		20
3			--	10					10	20
4				--	20	10				30
5			5		--		5	10		20
6					5	--		5		10
7			5				--			5
8								--	5	5
9	ϵ								--	ϵ
b_m	ϵ	10	20	30	30	35	10	10	25	$170 + \epsilon$

<Table 3> 적재된 vehicle의 운행회수

from \ to	1	2	3	4	5	6	7	8	9	V_i
1		5		2			3			10
2										
3				3						3
4			4			2	1			7
5								2		2
6		3								3
7					6			5		11
8			3					2		5
9	1						2			3
V_m	1	8	7	5	6	2	5	1	9	44

또한 <Table 3>은 기존의 연구에서 주로 제시하는 V_m 의 from-to vehicles chart(loads per shift)이다.

<Fig. 1>의 arc sets 중에서 { ③-④, C-⑤, ⑥-⑦, A-B, A-⑧, E-②, C-E, D-E }를 8개의 쌍비교에 의해서 방향을 결정하며, 이에 대한 최적경로는 <Fig. 2>와 같다.



<Fig. 2> 8개의 쌍 비교에 의한 최적경로

그리고 <Table 2>에서 최적해를 구하기 위해서 $F_{lm}(l=m)$ 에 임의적으로상당한 큰수를 할 당하고 이를 복서코너법을 적용한 최적 수송물량은 <Table 4>이다.

그러므로, 모델1에 의해서 $F_{12}=10, F_{13}=20, \dots, F_{89}=5$ 이고

$P_{12}=11, P_{13}=19, \dots, P_{89}=22$ 이며

최적해는 $\sum F_{lm}P_{lm}=2345$ 이다.

4) AGV의 이동수를 고려한 최소 AGV대수

<Table 4> 복서코너법을 적용한 최적수송물량

from	to									a_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1		10	20	5		15		10		60
2						20				20
3				20						20
4					30					30
5				5					15	20
6							10			10
7									5	5
8									5	5
9	ϵ									ϵ
b_m	ϵ	10	20	30	30	35	10	10	25	$170+\epsilon$

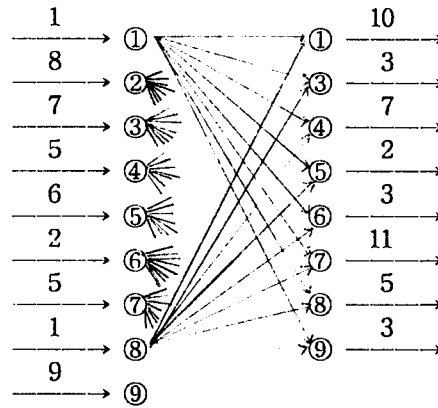
<Table 5> 부족한 텡빈vehicles의 이동회수

form	station number									total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
total to	1	8	7	5	6	2	5	1	9	44
total from	10		3	7	2	3	11	5	3	44
	-9	8	4	-2	4	-1	-6	-4	6	0

텡빈 vehicles의 이동 자료는 아래의 <Table 5>와 같으며 <Fig. 2>의 최적경로와 <Table 1>의 작업장간 이동시간을 고려하여 <Table 6>으로 나타낼 수 있고, 이동해야할 텡빈 vehicles의 수송모형은 <Fig. 3>이며, 이에 대한 최적해는 <Table 7>과 같다.

<Table 6> 최적경로에 따른 작업장간 이동시간

from	to									V_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	--	120	205	305	275	205	280	175	435	1
2	425	--	85	185	235	85	160	55	335	8
3	600	380	--	100	150	260	335	230	490	7
4	500	330	160	--	50	160	235	130	390	5
5	450	280	110	210	--	110	185	80	340	6
6	451	281	211	466	436	--	75	336	341	2
7	376	206	291	391	361	291	--	261	266	5
8	370	200	285	385	355	285	360	--	260	1
9	110	230	315	415	385	315	390	285	--	9
V_m	10	0	3	7	2	3	11	5	3	44



<Fig. 3> 수송 Network

<Table 7> 텡빈 vehicle의 최적경로와 회수

from station	①	②	②	②	③	④	④	④	⑤	⑥	⑦	⑦	⑦	⑧	⑨
to station	⑧	③	⑥	⑧	④	⑤	⑥	⑦	⑦	⑦	①	③	⑨	⑦	①
텡빈 vehicle의 이동 수	1	2	2	4	7	2	1	2	6	2	1	1	3	1	9

예를 들면, pick-up 작업장 ⑦, ④ 그리고 drop-off 작업장 ⑤, ⑥은 각각 25초가 소요되고 그 외 70초가 필요할 경우 모델2에 의해서 최소 AGV갯수는 아래와 같이 구한다.

$$\begin{aligned} \text{즉, } V_{12} &= 5, V_{14} = 2, \dots, V_{97} = 2, & T_{12} &= 260, T_{14} = 445, \dots, T_{97} = 530 \\ t_{18} &= 175, t_{23} = 85, \dots, t_{91} = 110, & X_{18} &= 1, X_{23} = 2, \dots, X_{91} = 9 \text{ 이므로} \\ \sum T_{lm} V_{lm} &= 15714 \text{ 초, } \sum t_{lm} X_{lm} = 6240 \text{ 초, } \sum (T_{lm} V_{lm} + t_{lm} X_{lm}) = 21954 \text{ 초이다.} \end{aligned}$$

그러므로, 단위당 AGV의 수송능력이 260분이면 N의 정의에 의해서

$$N \geq \left[\frac{21954}{15600} \right] = 1.407 \text{ 이므로 AGV의 갯수는 2대이다.}$$

따라서, 최적 경로는 모델1에 의해서 <Fig. 2>와 같고 이에 대한 최소 AGV갯수는 모델2에 의해서 2대임을 알 수 있다.

4. 결 론

중전의 최적 경로문제는 한방향과 양방향을 별도로 연구되었다. 그리고 오로지 정수계획법과 수송계획법의 해설적 적용으로 인하여 개선의 여지가 없었고, 또한 계산의 효율적 측면에서도 문제가 된다. 본 연구에서는

첫째, <Table 2>를 북서코너법으로 적용하기 위해서 $F_{lm}(l=m)$ 에 상당한 큰 수를 적용함

으로써 F_{lm} 에 논리적으로 할당되지 않게 하였고 동시에 개선된 최적해 <Table 4>를 도출시켰다.

그리고, AGV경로는 교차점과 인접한 교차점사이에 포함되어 있는 노드와 노드를 임의적으로 한개만 선택하여 쌍비교 함으로써 arc $i-j$ 를 보다 효율적으로 결정할 수 있다.

그러므로, 쌍비교를 포함한 정수계획법을 적용함으로써 계산의 효율성을 종전의 연구보다 상당히 많이 개선시켰다.

둘째, 최적경로에 대한 AGV 댓수 결정문제는 AGV 수송능력시간과 <Table 3> 및 <Table 7>의 시스템내에서 AGV 이동 수와 밀접한 상관관계가 있음을 예제를 통해서 알게 되었다.

따라서, 모델1에서 ($Z_{ij}=1$, or $Z_{ji}=1$)일 경우 한방향과 ($Z_{ij}=1$, and $Z_{ji}=1$)일 경우 양방향에 대한 최적경로는 <Fig. 2>와 같다. 모델2는 시스템내에서 이동한 AGV 수가 최소가 될 때 그리고, AGV 수송능력시간이 최대가 될 때 비로소 최소 AGV 댓수를 구할 수 있다.

추후 연구에 있어서는 작업장간 시간에 대한 최적경로, 작업장의 F_{lm} 과 V_{lm} 의 배정규칙에 따른 최적경로와 최소 AGV 댓수 결정의 연구가 필요할 것으로 사료된다.

參 考 文 獻

1. B. Mahadevan and T. T. Narendarn, "Estimation of number of AGVs for an FMS : an analytical model", vol . 11, pp. 2331-2346, IJPR, 1991
2. Choi , H. and Jung, M. "Guide-path design for automated guide vehicles", vol. 18, no. 1, pp. 121-139, KIIE, 1992
3. Doctoral dissertation, "A design methodology for operational control elements for automated guided vehicle based material handling systems"
4. Egbelu , P. J. and Tanchoco, J. M. A. , "Potential for bi-directional guide-path for automated guided vehicle based system" , vol . 24, no. 5, pp. 1075-1097, IJPR, 1986
5. Gobal , S. L. and Kasiligam, R. G. , "A simulation model estimating vehicle requirement in automated guided vehicle system " , vol. 21, no. 1, pp. 623-627, Computers Ind. Eng, 1991
6. Goets , W. G. and Egbelu , P. J. , "Guide path design and location of pick-up/drop-off points for an automated guided vehicle system", vol. 28, no. 5 , pp. 927-941, IJPR, 1990
7. Moshe Kaspi and J. M. A. Tanchoco, "Optimal flow path design of unidirectional AGV systems" , vol. 28 , no. 6 , pp. 1023-1030, IJPR, 1990
8. R. J. Gaskins and J. M. A. Tanchoco, "Flow path design automated guided vehicle systems" , vol. 25 , no. 5 , pp. 667-676 , IJPR, 1987
9. W. L. Maxwell and T. A. Muskstadt , "Design of automated guided vehicle system" , vol. 14 , no. 2 , IIE Trans. , 1982
10. Venkataramanan, M. A. and Wilson , K. A. , "A branch and bound algorithm for flow path design of AGV systems" , vol. 38 , pp. 431-445 , NRL. , 1991
11. 오 명진·김 진홍, "한 방향과 양 방향의 Layout design을 고려한 AGVS에 관한 연구", 경남전문대학 논문집, 제23집, 1995, pp.159-165