

Flow Shop 형태를 갖는 FMS에서의 AGV투입시점과 필요댓수의 결정

양대용* · 정병희** · 이종민***

Determination of the Entering Point and the Number of AGVs required in the Flow Shop Type FMS

Dae-Yong Yang*, Byung-Hee Chung** and Jong-Min Lee***

Abstract

In automated manufacturing systems, Automated Guided Vehicle(AGV) Systems are increasingly important in material handling and manufacturing operations. A considerably flexible AGV system needs to be operated with maximum effectiveness.

This paper develops an algorithm for the determination of the entering point and the number of AGVs required in the Flow Shop Type FMS. We consider an AGV used as a carrier and mobile workstation.

For the limited number of AGV, the entering point of an AGV on a simple loop is determined in order to maximize the utilization of AGVs. For the unlimited number of AGVs, the number of AGVs required in the FMS is determined on the basis of the entering point of AGVs. The result by the algorithm may be used as a criterion on the control of material flow and the assignment of AGVs in the FMS.

A numerical example is given to illustrate the algorithm.

1. 서 론

생산제품에 대한 소비자의 다양한 요구와 증가되는 신제품의 개발로 인하여 제품의 수명주기가

점차 단축되고 있다. 이러한 변화는 기업이 자동화된 생산시스템인 유연생산시스템(FMS: Flexible Manufacturing System)의 도입을 요구하게 된다.

* 수원전문대학 공업경영과

** 숭실대학교 산업공학과

*** 현대전자 MIS 개발부

종래의 대량생산 시스템에서는 기계이용율은 높지만 제품의 종류가 적어야 하는 제약때문에 유연성이 부족한 반면 주문생산 시스템에서는 유연성은 높지만 생산설비의 이용율은 낮다. 따라서 대량생산 시스템의 높은 설비이용율과 주문생산 시스템의 유연성을 모두 갖춘 자동화된 생산시스템으로써 FMS의 도입은 필연적이다.

FMS에서 전체 시스템 운영에 중요한 영향을 미치는 요소중의 하나가 바로 자재취급시스템(Material Handling System)으로써 무인운반시스템(AGVS: Automated Guided Vehicle System)이 주로 사용된다[4].

1950년대에 AGVS가 소개된 이후 현재는 보다 지적인 AGVS의 출현으로 인해 능력의 향상 및 배치의 융통성, 생산에 지장을 주지 않는 확장의 용이성과 같은 유연성을 지나게 되었다.

FMS 제조환경의 자동화 추세에 부응하여 AGVS의 사용이 급증하게 되었으며 그에 따른 AGV의 최대활용을 위한 라인상의 대기시간 감소와 최소 필요대수의 결정에 관한 관리와 통제가 필요하게 되었다.

AGV에 관한 연구는 최근에 많이 이루어졌는데, 특히 소요대수에 관한 연구로는 다음과 같다.

Maxwell & Muckstadt[5]는 From-To-Chart를 이용한 해석적 방법에 의해 주어진 배치의 최소 AGV의 대수를 결정하는 모델을 제시했다.

Egbelu[1]는 AGV 대수를 구함에 있어 요소가 다른 4가지 경우에 대해 해석적 방법에 의한 수식을 제시함으로써 모의실험을 하지않고 필요한 AGV의 대수를 구하였다.

Newton[6]은 VLFW와 FIFO 규칙에 의한 연속적인 시스템에서 AGV의 대수를 결정하는 모의실험 모델을 제시했다.

Tanchoco, Egbelu & Tagabonic[7]은 AGV system에 대한 Simulator를 개발하여 필요한 AGV 대수를 모의실험에 의해 구하였다.

이러한 연구들은 모두 AGV가 작업장간의 물류

이동을 위한 운반기능으로만 이용되는 경우의 필요대수에 관한 것이다.

Egbelu & Roy[2]는 AGV를 바탕으로 한 단순생산 라인에서의 총처리완료시간을 최소화하기 위한 AGV의 최적투입 시기를 결정하고 필요한 AGV의 대수는 가공하고자 하는 부품의 총수를 AGV의 최대용량으로 나누어 결정하는 모델을 제시했다.

본 연구의 목적은 AGV가 운반 및 이동작업대로써 이용되는 Simple Loop로 구성된 Flow Shop형 FMS에 있어 작업이 시작된 후 라인상에 AGV의 대기가 발생하지 않으면서 총처리 완료시간을 최소화시키는 AGV의 최적투입시점에 의한 필요 AGV대수의 결정과 한정된 AGV의 최대활용을 위한 알고리즘을 개발하는 데 있다.

본 연구의 내용은 다음과 같이 구성되어 있다.

첫째, 투입시점을 결정하는 최적조건을 유도한다.

둘째, 총처리완료시간의 최소화를 위한 AGV의 투입시점을 결정하는 알고리즘을 개발한다.

셋째, 결정된 투입시점에 의해 필요한 AGV의 대수를 결정한다.

넷째, 예제를 통해 제시된 알고리즘을 평가한다.

2. AGV 투입시점과 필요대수의 결정

2-1. FMS의 제조환경

본 연구에서 고려하는 FMS는 처리하고자 하는 모든 제품의 가공순서가 동일한 Simple Loop의 형태를 갖는 Flow Shop형 FMS이다[9]. FMS의 구성은 그림 1과 같이 다수의 작업장 및 작업장을 순환하는 AGV로 구성되어 있고 각 작업장은 하나의 CNC 기계를 갖는다. 단일부하를 적재한 AGV는 작업장에 도착 즉시 받아들여져 이동작업대로 이용된 후 다음 작업장으로 이동한다.

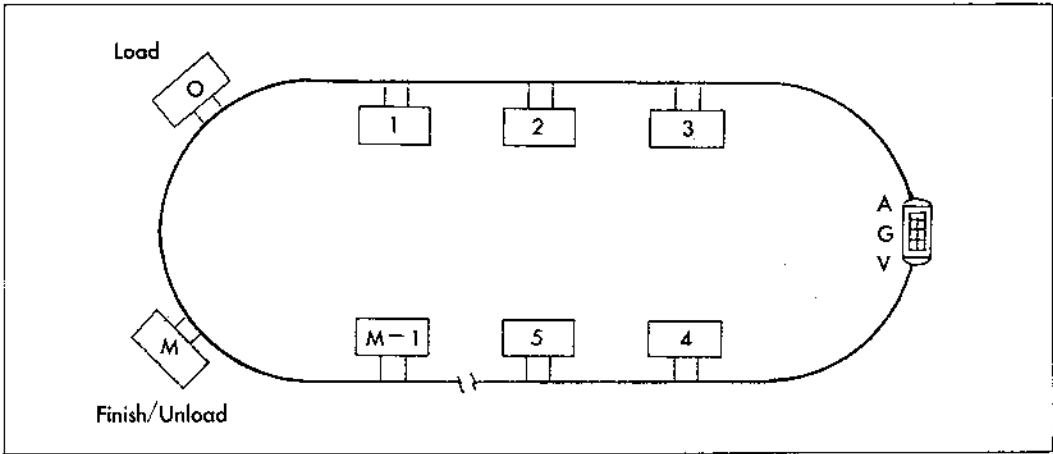


그림 1. FMS의 구성

FMS의 한부분인 AGV는 크게 다음의 두가지 기능 중 한가지로 사용되어진다[2, 3, 4].

- 1) 운반기능(Carrier) : AGV가 오직 작업장들 사이의 물류를 이동하는 운반수단으로만 사용되어진다.
- 2) 운반과 이동작업대기능(Carrier & Mobile workstation) : AGV가 운반기능과 이동작업대의 기능을 동시에 갖는다.

FMS의 상황에 가장 적합한 단위부하(unit load)를 적재한 AGV(Unit-load AGV)[8]가 운반기능과 이동작업대의 기능을 동시에 갖는 경우에 있어, 만약 AGV가 너무 밀접하게 라인에 투입된다면 라인상에 대기가 발생하게 되므로 많은 수의 AGV가 필요하게 되어 투자의 증대를 갖게 한다. 또한 AGV의 투입 간격이 너무 크다면 작업장 0(Load station)에서 AGV의 휴지(idleness)가 발생하게 되어 전체 단위부하의 처리시간이 길어지게 된다. 이 같은 이유로 AGV가 운반 및 이동작업대 기능을 동시에 갖는 Flow Shop형태의 FMS 운영에 있어서 주요문제는 AGV의 최대활용을 위해 라인에 투입되는 최적시점을 결정하고 FMS내에서 필요한 AGV의 댓수를 결정하는 것이다.

2-2. 최적조건

제시하고자 하는 알고리즘의 목적은 운반 및 이동작업대로써 AGV가 이용되는 Flow Shop 형태를 갖는 FMS에서 AGV의 사용효과를 최대화시키는 동시에 총처리완료시간을 최소화시키기 위해 라인상에서 AGV의 대기가 발생하지 않도록 AGV가 라인에 투입되는 최적시점을 결정하고 FMS내에서 필요한 AGV의 댓수를 결정하는데 있다.

알고리즘의 전개를 위한 가정은 다음과 같다.

- 1) 작업장간의 AGV 이동시간은 알려져 있으며 운반되는 단위부하와는 무관하다.
- 2) 단위부하들의 처리시간은 정해져 있다.
- 3) 단위부하들의 투입순서는 알고 있다.
- 4) 각 작업장은 AGV를 도착 즉시 받아들인다.
- 5) 기계 및 AGV의 고장은 고려하지 않는다.

본 연구에서 사용되는 기호의 정의는 다음과 같다.

N : 단위부하의 수

M : 작업장의 수

v : FMS내에서 이용할 수 있는 AGV의 댓수 ;
 $v=1, \dots, N$

$E_i(j)$: 작업장 i 에서 단위부하 j 의 방출시점 ;
 $j=1, \dots, N, i=0, \dots, M$

Q_j : 단위부하 j 의 부품수

$T_i(j)$: 작업장 i 에서 단위부하 j 의 단위부품당

처리시간

$P_j(i)$: 작업장 i 에서 단위부하 j 의 처리시간,

$$P_j(i) = Q_j * T_j(i)$$

$S(i)$: 작업장 $(i-1)$ 로부터 작업장 i 로 AGV가 이동하는데 소요되는 시간

$PW_j(i)$: 단위부하 j 가 작업장 i 에 있을 때 단위부하 j 가 지나온 선행작업장들의 집합

본 연구에서는 라인상에 버퍼(buffer)를 고려하지 않았는데 이는 AGV가 운반기능과 이동작업대 기능을 동시에 갖고 있으므로 버퍼의 고려는 AGV 댓수의 증가를 의미하며, 이는 높은 투자비를 초래케하여 비현실적이기 때문이다. 알고리즘의 전개과정에 앞서 다음과 같은 정의와 성질을 필요로 한다.

<정의 1> 초기방출시점

초기방출시점 $E_j(0)$ 은 작업장 0(Load station)으로부터 단위부하 j 가 방출되는 시점으로서 이는 단위부하 j 가 라인으로 최초투입되는 시점이다.

<정의 2> 진행방출시점

진행방출시점 $E_j(i)$ 은 단위부하 j 가 작업장 i 에서 작업을 완료하고 빠져나가는 시점이다. 작업장 $(i+1)$ 에서의 투입시점은 진행방출시점 $E_j(i)$ 에 다음 작업장으로의 이동시간 $S(i+1)$ 을 더하면 된다.

<성질 1> 방출시점의 계산

작업장 i 에서 단위부하 $(j-1)$ 의 진행방출시점 $E_{j-1}(i)$ 와 단위부하 j 의 진행방출시점 $E_j(i)$ 를 알고 있을 때 라인상에서 단위부하의 대기시간을 허용하지 않을 경우 총처리 완료시간이 최소화되는 단위부하 j 의 초기방출 시점 $E_j(0)$ 및 후행작업장 $(i+1)$ 에서의 진행방출시점 $E_j(i+1)$ 은 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} E_j(0) &= 0 && ; i=0, j=1 \\ E_j(0) &= E_{j-1}(1) - S(1) && ; 1=0, j=2, \dots, N \\ E_j(i+1) &= E_j(i) + P_j(i+1) + S(i+1) && ; i=0, \dots, M-1, \\ &&& j=1, \dots, N \end{aligned}$$

<성질 2> 방출시점의 수정

<성질 1>에 의해 구해진 작업장 i 에서 단위부하 j 의 진행방출시점 $E_j(i)$ 와 단위부하 $(j+1)$ 이 작업장 i 에 투입되는 시점 $E_{j+1}(i-1) + S(i)$ 를 비교해서 $E_j(i) > E_{j+1}(i-1) + S(i)$; $j=1, \dots, N-1, i=1, \dots, M$ 이면 라인에서 단위부하 $(j+1)$ 의 대기가 발생하므로 대기의 발생을 제거하기 위하여 다음 식에 의해 단위부하 $(j+1)$ 의 방출시점들이 수정되어야 한다.

$$E'_{j+1}(i-1) = E_{j+1}(i-1) + \Delta E_j(i) ; i \in PW_j(i)$$

$$\text{여기서, } \Delta E_j(i) = E_j(i) - \{E_{j+1}(i-1) + S(i)\}$$

<성질 3> 필요 AGV 댓수의 결정

FMS내에서 이용할 수 있는 AGV의 댓수가 제한이 없는 경우, 필요로 하는 최소 AGV 댓수는 다음 식을 만족하는 v 의 최소치와 같다.

$$\begin{aligned} E_j(M) + S(0) &\leq E_{j+v}(0) ; j=1, \dots, N-v, \\ &v=1, \dots, N \end{aligned}$$

AGV가 순환하기 때문에 단위부하 j 에 이용되었던 AGV는 다음에는 $(j+v)$ 의 단위부하에 이용되어야 한다. 즉, v 대로써 라인상에 대기의 발생없이 모든 단위부하를 처리하기 위해서는 다음의 수식을 만족하는 v 의 최소치가 곧 FMS내에서 필요로 하는 최소 AGV 댓수가 된다.

$$v=1$$

$$E_1(M) + S(0) \leq E_2(0) ; j=1$$

$$E_2(M) + S(0) \leq E_3(0) ; j=2$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$E_j(M) + S(0) \leq E_{j+1}(0) ; j=N-1$$

$$v=2$$

$$E_1(M) + S(0) \leq E_3(0) ; j=1$$

$$E_2(M) + S(0) \leq E_4(0) ; j=2$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$E_j(M) + S(0) \leq E_{j+2}(0) ; j=N-2$$

$$\vdots$$

$$v=N$$

$$E_1(M) + S(0) \leq E_{j+N}(0) ; j=N-v$$

<성질 4> AGV 댓수가 제한적일 때의 초기방출시점

FMS내에서 이용할 수 있는 AGV의 댓수가 v대 로써 제한적일 때, 한정된 AGV가 라인상의 대기가 발생하지 않고서 모든 단위부하에 이용될 수 있도록 하기 위해서는 이용하고자 하는 AGV의 초기방출 시점이 다음 식을 만족해야 한다.

$$E_j(M) + S(0) \leq E_{j+v}(0); j=1, \dots, N-v, v=1, \dots, N$$

만약, $E_j(M) + S(0) > E_{j+v}(0)$ 인 경우 단위부하 j에 이용되었던 AGV가 (j+v)의 단위부하에 이용될 수 없기 때문에 투입시점 $E_{j+v}(0)$ 은 다음 식에 의해 수정되어야 한다.

$$E'_{j+v}(0) = E_{j+v}(0) + \Delta E_{j+v}(0)$$

$$\text{여기서, } \Delta E_{j+v}(0) = E_{j+v}(0) - \{E_j(M) + S(0)\}$$

이 때 $E_{j+v}(0)$ 가 전혀 수정되지 않았다면 v대 미만의 AGV가 필요하다는 것을 의미하므로 <성질 3>에 의해 구해진 최소댓수를 한정된 AGV댓수 v에서 빼면 그 값이 유휴 AGV 댓수가 된다.

이러한 성질들은 라인상에서 AGV의 대기가 발생하지 않고 총처리완료시간을 최소화시키는 최적 투입시점을 구하고 이를 토대로 최소 AGV 댓수의 결정과 한정된 AGV의 최대 활용을 위한 최적조건들이다.

3. 알고리즘 및 수치예제

Simple Loop로 구성된 Flow Shop 형태를 갖는 FMS에 있어서 AGV가 운반 및 이동작업대로 이용되는 경우 AGV의 최대활용을 위한 최적투입시점 및 필요댓수에 관한 알고리즘은 다음과 같다.

3-1. AGV 댓수의 제한이 없는 경우

<단계 0>

단위부하 1의 초기방출시점 $E_1(0)$ 및 후행작업장에서 진행방출시점 $E_1(i+1)$ 를 구한다.

$$E_1(0) = 0; i=0, j=1$$

$$E_1(i+1) = E_1(i) + P_1(i+1) + S(i+1);$$

$$i=1, \dots, M-1$$

<단계 1>

단위부하 j의 초기방출시점 $E_j(0)$ 를 <성질 1>에 의해 구한다.

$$E_j(0) = E_{j-1}(1) - S(1); i=0, j=j+1$$

<단계 2>

단위부하 j의 후행작업장에서의 진행방출시점 $E_j(i+1)$ 를 <성질 1>에 의해 구한다. 이 때 $E_j(i+1)$ 가 단위부하 j의 최종방출시점 $E_j(M)$ 이면 <단계 4>, 아니면 <단계 3>로 간다.

<단계 3>

작업장 i에서 단위부하 j의 방출시점과 단위부하 (j+1)의 투입시점을 비교하고 <성질 2>를 적용한 후 <단계 2>로 간다.

<단계 4>

작업장 i에서 단위부하 j의 방출시점 $E_j(i)$ 가 최종단위부하 j의 최종방출시점 $E_N(M)$ 이면 모든 단위부하 j에 대해 <성질 3>을 이용해 최소 AGV 댓수를 구하고, 아니면 <단계 1>로 간다.

3-2. AGV 댓수가 v대로써 한정된 경우

<단계 0>

단위부하 1의 초기방출시점 $E_1(0)$ 및 후행작업장에서 진행방출시점 $E_1(i+1)$ 를 구한다.

$$E_1(0) = 0; i=0, j=1$$

$$E_1(i+1) = E_1(i) + P_1(i+1) + S(i+1);$$

$$i=1, \dots, M-1$$

<단계 1>

단위부하 j의 초기방출시점 $E_j(0)$ 를 <성질 1>에 의해 구한다.

$$E_j(0) = E_{j-1}(1) - S(1); i=0, j=j+1$$

<단계 2>

초기방출시점 $E_j(0)$ 가 단위부하 $(j+v)$ 의 초기방출시점 $E_{j+v}(0)$ 이면 <성질 4>를 적용한 후 <단계 1>로 가고, 아니면 <단계 3>으로 간다.

<단계 3>

단위부하 j 의 후행작업장에서의 진행방출시점 $E_j(i+1)$ 를 <성질 1>에 의해 구한다. 이 때 $E_j(i+1)$ 이 단위부하 j 의 최종방출시점 $E_j(M)$ 이면 <단계 5>로 간다.

<단계 4>

작업장 i 에서 단위부하 j 의 방출시점과 단위부하 $(j+1)$ 의 투입시점을 비교하고 <성질 2>를 적용한 후 <단계 3>으로 간다.

<단계 4>

작업장 j 에서 단위부하 j 의 방출시점 $E_j(i)$ 가 최종단위부하 j 의 최종방출시점 $E_n(M)$ 이면 <성질 4>에 의해 유티 AGV 댓수의 유무를 판단하고, 아니면 <단계 1>로 간다.

표 1. 각 단위부하의 작업장별 처리시간

j	$P_j(1)$	$P_j(2)$	$P_j(3)$	$P_j(4)$	$P_j(5)$
1	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0
2	20.0	21.0	20.0	23.0	21.0
3	28.0	25.0	26.0	27.0	26.0
4	10.0	12.0	11.0	14.0	15.0
5	21.0	20.0	24.0	26.0	20.0
6	17.0	14.0	18.0	9.0	18.0

표 2. 각 단위부하의 투입 및 방출시점 계산결과 (AGV의 댓수 제한이 없는 경우)

j	$E_j(0)$	$E_j(1)$	$E_j(2)$	$E_j(3)$	$E_j(4)$	$E_j(5)$
1	0.0	5.0	11.0	16.0	20.0	24.0
2	4.0	25.0	47.0	68.0	92.0	114.0
3	24.0	53.0	79.0	106.0	134.0	161.0
4	109.0	120.0	133.0	145.0	160.0	176.0
5	119.0	141.0	162.0	187.0	213.0	234.0
6	171.0	189.0	204.0	223.0	233.0	252.0

표 3. 각 단위부하의 투입 및 방출시점 계산결과 (AGV의 댓수가 2대로 제한된 경우, $v=2$)

j	$E_j(0)$	$E_j(1)$	$E_j(2)$	$E_j(3)$	$E_j(4)$	$E_j(5)$
1	0.0	5.0	11.0	16.0	20.0	24.0
2	4.0	25.0	47.0	68.0	92.0	114.0
3	25.0	54.0	80.0	107.0	135.0	162.0
4	115.0	126.0	139.0	151.0	166.0	182.0
5	163.0	185.0	206.0	231.0	258.0	279.0
6	216.0	234.0	249.0	268.0	278.0	297.0

3-3. 수치예제

각 품목별 단위부하의 크기가 다른 6개 품목의 각 단위부하에 대한 작업장별 처리시간은 표 1과 같으며, 작업장간 단위부하의 이동시간은 모두 1이다. FMS내에서 현재 이용가능한 AGV가 2대($v=2$)인 경우와 AGV댓수의 제한이 없는 경우의 알고리즘 적용결과가 표 2, 표 3이다.

이러한 결과는 FMS의 라인인 Simple Loop로 구성되어 있기 때문에 가능하다. 따라서 각 품목별 AGV의 이용에 관한 최종결과는 표 4와 같다.

4. 결 론

본 연구에서 제시한 알고리즘은 Flow Shop 형태를 갖는 FMS에 있어 단위부하를 적재한 AGV가 운반 및 이동작업대로써 이용되는 경우 라인상에서 대기가 발생하지 않고 총처리완료시간을 최소화시키는 AGV의 최적투입시점에 의해 필요한 AGV 댓수의 결정과 한정된 AGV의 최대활용을 가능케 한다.

이러한 결과는 FMS에서의 원활한 자재흐름과 각 FMC나 FAL(Flexible Assembly Line)과 같은 생산시스템의 설계시 많은 도움을 줄 수 있다.

본 연구에서는 한정된 AGV의 최대활용을 위한 투입시점과 최소 AGV 댓수를 결정하였지만, 추후

표 4. 알고리즘 적용에 의한 최종결과

Unit Load(j)	AGV가 2대로 제한된 경우		AGV 댓수 제한이 없는 경우	
	AGV #	최적투입시점 $[E_j(0)]$	AGV #	최적투입시점 $[E_j(0)]$
1	AGV 1	0.0	AGV 1	0.0
2	AGV 2	4.0	AGV 2	4.0
3	AGV 1	25.0	AGV 3	24.0
4	AGV 2	115.0	AGV 1	109.0
5	AGV 1	163.0	AGV 2	119.0
6	AGV 2	216.0	AGV 3	171.0
필요한 AGV 최소댓수		2		3
총처리 완료시간		297.0		252.0

에는 AGV의 최대활용을 위해 단위부하의 크기를 고려한 최소 AGV 댓수의 결정에 관한 연구 및 Job Shop형 FMS에 관한 연구가 필요하리라 생각된다.

참고문헌

[1] Egbelu, P.J., "The use of Non-Simulation Approaches in Estimating Vehicle Requirements in an Automated Guided Vehicle Based Transport System," *Material Flow*, 4, pp.17-32, 1987.

[2] Egbelu, P.J., Roy, N., "Material Flow Control in AGV/unit load based Production Lines," *Int. J. Prod. Res.*, 26, 1, pp.81-94, 1988.

[3] Freas, R.W., "Horizontal Transportantion : Reviewing The Alternative," AMSC Chicago. II, 1988.

[4] Groover, M.P., "Automation, Production Systems & Computer Integrated Manufacturing" (Prentice-Hall International), 1987.

[5] Maxwell, W.L., Muckstadt, J.A., "Design

of Automated Guided Vehicle System," *IIE Transactions*, 14, 2, pp.114-124, 1982.

[6] Newton, D., "Simulation Model Calculates How Many Automated Guided Vehicles Are Needed," *Industrial Engineering*, February, pp.68-78, 1985.

[7] Tanchoco, J.M.A., Egbelu, P.J., and Tagabonic, F., "Determination of the Total Number Vehicles in an AGV-Based Material Transport System," *Material Flow*, 4, pp.33-51, 1987.

[8] Vosniakos, G.-C., Mamalis, A.G., "Automated Guided Vehicle System Design For FMS Applications," *Int. J. Mach. Tools Manufact.* Vol. 30, No. 1, pp.85-97, 1990.

[9] 平林直樹, 長澤啓行, 西山徳幸, "分割スジコリング法のフロ-ショップFMSへの適用に関する研究," *日本經營工學會誌*, 39, 1, pp.8-13, 1988.