

AGV 투입간격을 고려한 Flow Shop형 FMS의 최적작업순서 결정

정병희* · 양대용**

Determination of the Optimal Job Sequence on the Flow-Shop Type FMS
Considering the AGVs' Entering Interval

Byung-Hee Chung* and Dae-Yong Yang**

Abstract

The purpose of this paper is to improve the operation performance of unit-load Automated Guided Vehicles(AGVs) used as a carrier and mobile workstation in a flow-shop type flexible manufacturing system.

An algorithm is developed to determine the optimal job sequence which minimizes the vehicle idle time on the line and the production makespan by the use of the entering interval and travel time between workcenters. An entering times of AGVs and the minimum number of AGVs required are calculated by optimal job sequence.

When the number of AGVs is limited, entering times of AGVs are adjusted to maximize the efficient use of vehicles. A numerical example is given to illustrate the application of the algorithm.

* 숭실대학교 산업공학과

** 수원전문대학 공업경영과

1. 서 론

고객의 구매요구가 다양해지고 급속한 기술 혁신으로 제품수명이 짧아진 만큼 기업은 제품을 경제적 또는 효과적으로 경제변동에 순응하며 생산하지 않으면 곤란하게 되었다. 이는 생산부문의 유연성(Manufacturing Flexibility)을 강조한 것으로 고객의 요구에 유연성있게 적응하고 제품의 원가절감과 납기단축을 위해서는 기업이 확실적인 소품종다량 생산 방식에서 탈피하여 유연성을 띤 중품종 중소량 생산에 적합한 생산방식을 채택하는 것이 절실하다.

이러한 시대적 요청에 부응한 것이 곧, 유연 제조시스템(FMS, Flexible Manufacturing System)이다. FMS는 NC(Numerical Control) 기계와 자동화된 MHS(Material Handling System) 등이 제어 컴퓨터에 의해 통합적으로 운영되는 시스템으로써 소량생산 시스템인 Job Shop의 유연성을 유지하면서 대량생산 시스템의 효율성을 달성하고자 하는 자동화된 생산시스템이다[1].

FMS의 하드웨어 구성에서 가공기능과 유기적으로 결합하여 운반을 수행하는 무인운반차(AGV, Automated Guided Vehicle)가 각광을 받고 있다. AGV는 1950년대 소개된 후 1970년대 이후 자동운반수단으로 그 중요성이 인식되어 도입이 확산되고 있다. AGV는 적은 공간을 차지하고 설계변경에 따른 유연성, 기존의 다른 운송설비들에 비해 부대설비가 적다는 장점으로 자동운반수단으로 널리 이용되고 있다.

AGV는 유도방법에 의해 공장내에서 공정간을 작업물과 부품, 제품등을 적재하여 무인으로 주행하며 정해진 장소에 운반하는 장치로서 배터리식 무궤도 고무타이어 차량으로 컴퓨터

로 제어되고 있다[3].

오늘날 AGV는 제조환경의 자동화 추세에 부응하여 그 사용이 급증하게 되었으며, 그에 따른 AGV의 효율성을 최대화하는 관리 및 통제가 필요하게 되었다.

AGV에 관한 연구는 1980년대 이후 많이 이루어져 왔다. 대다수의 연구가 운반기능만을 수행하는 AGV의 필요대수의 결정[5, 12, 13, 16, 17]이나 할당 규칙[6, 13]에 관한 것이다.

단위부하(Unit load)가 적재된 상태에서 생산라인의 흐름에 따라 운반과 작업이 진행되는 즉, 운반과 작업대기능(Carrier & Mobile Workstation)을 동시에 갖는 경우의 AGV에 관한 것은 많지 않다.

Egbelu와 Roy[7]는 조립라인에 있어 AGV의 방출시점(Launch Times)을 효율적으로 결정하는 알고리즘을 개발하였다. 그들은 생산하고자 하는 다수 제품의 작업순서가 주어진 경우에 AGV의 방출시점을 결정함으로써 제품의 작업순서에 대해서는 동시에 고려하지 않았다.

Grasso[8]는 FAL(Flexible Assembly Line)에 있어 발전적기법에 의해 제품의 작업순서를 결정한 후 AGV의 투입시점을 결정하는 모형을 제시하였다.

본 연구의 목적은 AGV가 운반 및 작업대으로써 이용되는 Simple Loop로 구성된 Flow Shop형 FMS에 있어 I/O작업장(I/O station)에서의 AGV휴지 및 작업이 시작된 후 라인에 투입된 AGV의 대기시간을 최소로 함으로써 총처리 완료시간(Makespan)을 최소화하는 최적 작업순서를 결정하는 데 있다.

2. 문제상황

공장등 생산현장에서의 종합 오토메이션화에 따라서 물류의 첨병으로서 또는 컴퓨터에 의한 지능과 결부된 생산시스템의 완전 자동화를 위한 동맥의 역할을 담당하여 AGV와 그 시스템은 근래에 크게 각광을 받고 있다.

현재 실용화 되고 있는 AGV는 배터리식의 무궤도 고무타이어방식 차량으로 어떤 유도방식(전자유도방식이 대부분, 광학테이프방식도 일부 사용, 최근에는 여러가지 아이디어에 의한 각종 유도방식도 활용하고 있다)에 의하여 공장내의 조립공정이나 가공공정간을 가공대상물이나 물품을 적재하여 무인으로 주행하여 특정 장소에 운반하는 장치를 말한다. 이 AGV는 종래 이동작업에 의한 대량생산의 운반에 적합한 컨베이어방식과 달라서 선로(Guide Path) 변경에 의한 운반경로의 수정 또는 확장이 용이할 뿐 아니라 운반대상도 다품종이며 중량생산에도 대응할 수 있는 운반 수단으로서 FA나 FMS에는 중요한 요소이다.

AGV의 기술은 현재까지는 거의 공장내에 한하고 있었으나 최근의 경향으로써 그 이외의 분야에서도 이용이 늘어가고 있으며 일반가정, 사무실, 공공시설, 지하상가나 터미널, 병원, 건설현장 등에서의 이용이 고려되고 있다[4].

AGV의 유형은 여러가지가 있겠지만 그 기능은 운반기능과 운반 및 작업대 기능의 두 기능 중 한가지로 사용되어진다[7, 8, 9, 10].

AGV가 운반 및 작업대기능을 동시에 갖는 경우의 중요한 두 가지 문제는

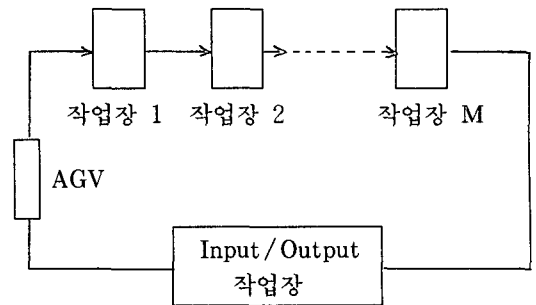
- 1) 모든 제품을 생산하는데 필요한 소요시간을 최소화 하는 것과
- 2) 라인에 투입된 AGV의 대기시간을 최소화 하여 필요갯수를 최소화하는 것이다.

운반 및 작업대의 두기능을 동시에 갖는 경우 라인에 투입된 AGV의 대기시간을 최소화

하고, 이동시간을 고려한 모든제품의 총처리 완료시간을 최소화하는 작업순서를 결정함으로써 시스템의 운영효율을 최대화할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 작업순서상 연속되는 두 제품간의 AGV 투입간격과 이동시간을 고려하여 모든 제품을 완료하는데 소요되는 총처리 완료시간을 최소화하는 작업순서를 TSP(Traveling Salesman Problem)모형에 의해 결정되는 알고리즘을 제시하였다.

연구대상의 FMS는 처리하고자 하는 모든 제품의 가공순서가 동일한 Simple Loop의 형태를 갖는 Flow Shop형 FMS로 그 구성은 [그림 1]과 같다.



[그림 1] FMS의 구성

다수의 제품 $j(j=1, \dots, N)$ 를 생산하기 위한 작업장 $i(i=0, \dots, M)$ 및 그 작업장을 순환하는 AGV로 구성되어 있고 각 작업장은 하나의 CNC기계를 갖는다. 단위부하의 제품을 적재한 AGV는 작업장에 도착 즉시 받아들여져 단위부하가 적재된 상태에서 작업을 마친후 다음 작업장으로 이동한다. 작업을 완전히 끝내면 I/O작업장에서 단위부하를 하역한 후 다음 제품의 운반 및 작업대 기능을 수행하기 위해 대기한다.

I/O작업장에서의 AGV 버퍼는 허용하나 라

인에 투입된 AGV의 작업장간 버퍼는 허용하지 않는다. 라인에 투입된 후 AGV의 대기발생은 총처리 완료시간의 증가와 필요로 하는 AGV의 댓수를 증가하게 한다. 경제적 측면을 고려한다면 AGV 댓수를 최소화시켜야 한다. 작업장간의 대기의 허용은 선박엔진과 같은 크고 무거운 작업을 처리하는 기계의 경우 많은 저장공간과 정교한 운반장비를 필요로 한다.

이러한 문제의 해결은 AGV가 라인에 투입된 후 대기가 전혀 발생하지 않으면서 모든 제품을 처리하는데 소요되는 시간을 최소화하는 각 제품의 작업순서와 투입시점을 결정하는 것으로 구성한다.

알고리즘의 전개를 위한 가정은 다음과 같다.

- 1) 작업장간의 AGV 이동시간은 일정하고, 운반되는 단위부하와는 무관하다.
- 2) 단위부하들의 처리시간은 정해져 있다.
- 3) 각 작업장은 AGV를 도착 즉시 받아들이므로 작업장간 버퍼(buffer)는 고려하지 않는다.
- 4) AGV는 한번에 단위부하만을 취급한다.

3. 알고리즘 및 수치예제

3.1 알고리즘의 개발

Reddi와 Ramamoorthy[14]는 공정간 재고를 허용하지 않는 Flow-Shop의 총처리 완료시간을 최소화하는 작업순서를 결정하는 모형을 제시하였다. Flow-Shop형 FMS에 있어서 AGV의 운용효율을 고려한 작업순서의 결정은 Flow-Shop의 작업순서 결정과는 특성상 다르

다. 특히 운반 및 작업대 기능을 동시에 수행하는 AGV가 라인에 투입된 후 대기가 전혀 발생하지 않으면서 작업장간 이동시간을 고려하여 총처리 완료시간을 최소화시키는 작업순서를 $N!$ 의 모든 경우에 대해 고려한다는 것은 비효과적이다. 만약 라인에 투입된 AGV의 대기가 발생되면 상대적으로 필요한 AGV 댓수는 많아질 것이다. AGV는 고가장비로서 필요한 댓수를 최소화 하도록 노력해야 한다.

그러므로 필요한 AGV를 최소화 하고 모든 생산제품의 총처리 완료시간을 최소화 하는 작업순서를 결정해야 한다. AGV가 운반 및 작업대 기능으로 이용되는 경우는 작업장간 이동시간도 고려하여 투입시점을 결정함으로써 대기가 발생하지 않게 된다.

I/O 작업장에서 AGV가 언제 라인에 투입되느냐에 따라 I/O 작업장에서의 AGV휴지 또는 라인에 투입된 AGV의 대기가 발생하게 된다. AGV의 휴지 및 대기는 총처리 완료시간과 필요한 AGV 댓수를 증가시키므로 최적 작업순서와 투입시점에 의해 이를 최소화해야 한다. 작업장간 버퍼를 허용하지 않으므로 AGV의 대기시간은 작업장에서 선행제품(j-1)의 완료시간과 후행제품 j의 투입시간과의 차이가 된다. 따라서 선행제품의 완료시간과 후행제품의 투입시간에 따라 대기시간은 모든 작업장에서 발생가능하며, 제품 j의 작업장 i에서의 처리시간이 $P_j(i)$ 인 경우 발생가능한 최대 AGV 대기시간은 다음식에 의해 구해진다.

$$AGV\text{대기시간} = \max\left[\sum_{i=2}^M P_{j-1}(i) - \sum_{i=2}^M P_j(i-1), 0\right] \quad (1)$$

$$, 2 \leq j \leq N$$

결국 후행제품 j의 AGV가 라인에 투입된 후 발생가능한 대기시간을 최소화하기 위해서는 식(1)에 의해 구해진 대기시간과 선행제품

(j-1)의 첫번째 작업장에서의 처리시간 만큼의 시간간격을 두고 I/O 작업장에서 투입되어야 한다. $\Delta E_j(0)^*$ 를 연속되는 두 제품의 생산에 있어 라인상의 AGV 대기시간을 최소화하는 두 제품간의 최소 투입간격이라하면 식(2)와 같이 표현된다.

$$\Delta E_j(0)^* = P_{j-1}(1) + \max\left(\sum_{i=2}^M P_{j-1}(i-1), 0\right) \quad (2)$$

$$, 2 \leq j \leq N$$

S(i)를 작업장간 AGV 이동시간이라 한다면 작업순서가 주어진 경우 j번째 제품의 I/O 작업장에서의 투입시점 $E_j(0)$ 와 작업장 i에서의 방출시점 $E_j(i)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\left. \begin{aligned} E_1(0) &= 0, & i=0, j=1 \\ E_j(0) &= E_{j-1}(0) + \Delta E_j(0)^*, & j=2, \dots, N \\ E_j(i) &= E_j(0) + P_j(i) + S(i), & i=1, \dots, M \\ & & j=2, \dots, N \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

[정리 1] 운반 및 작업대의 두 기능을 동시에 갖는 AGV가 라인에 투입된 후 대기가 발생하지 않는 경우 모든 제품의 총처리 완료시간 MK(N)은 두 제품간 AGV 투입간격과 최종제품의 총처리시간 및 운반시간을 더한 값이다.

$$MK(N) = \sum_{j=2}^N \Delta E_j(0)^* + \sum_{i=1}^M P_N(i) + \sum_{i=1}^M S(i) \quad (4)$$

증명 : $P_N(i)$ 를 최종제품 N의 각 기계 i에서의 처리시간이라 하자. 작업순서가 1, 2, ..., N인 경우 각 작업을 모두 처리하는 총처리 완료시간 MK(N)은 작업의 대기가 전혀 발생하지 않으므로 다음과 같이 표현된다.

$$MK(1) = E_1(0) + \sum_{i=1}^M P_1(i) + \sum_{i=1}^M S(i)$$

$$MK(2) = E_1(0) + \Delta E_2(0)^* + \sum_{i=1}^M P_2(i) + \sum_{i=1}^M S(i)$$

$$= E_2(0) + \sum_{i=1}^M P_2(i) + \sum_{i=1}^M S(i)$$

$$MK(3) = E_2(0) + \Delta E_3(0)^* + \sum_{i=1}^M P_3(i) + \sum_{i=1}^M S(i)$$

$$= E_3(0) + \sum_{i=1}^M P_3(i) + \sum_{i=1}^M S(i)$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$MK(N) = E_{N-1}(0) + \Delta E_N(0)^* + \sum_{i=1}^M P_N(i) + \sum_{i=1}^M S(i)$$

$$= E_N(0) + \sum_{i=1}^M S(i)$$

$$= [E_1(0) + \Delta E_2(0)^* + \dots + \Delta E_N(0)^*]$$

$$+ \sum_{i=1}^M P_N(i) + \sum_{i=1}^M S(i)$$

위 식에서 첫번째 작업의 투입시점 $E_1(0) = 0$ 이므로 총처리 완료시간은 [정리 1]과 같게 된다. □

경로 i에서 j간의 비용을 C_{ij} 라 한다면 식(2) 및 식(4)의 최종제품 총처리시간과 운반시간은 다음과 같은 비용 형태로 표현된다.

$$\left. \begin{aligned} C_{ij} &= \Delta E_j(0)^*, i, j \neq 0 \\ C_{0i} &= \sum_{i=1}^M S(i) \\ C_{M0} &= \sum_{i=1}^M P_N(i) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

따라서 최소비용 경로가 (0-1-2-.....-N-0)라면 최적작업 순서는 (1-2-.....-N)이다. 또한 경로 (0-1-2-.....-N-0)의 비용은

$$C_{01} + \sum_{j=2}^M \Delta E_j(0)^* + C_{M0} \text{ 이 된다.}$$

그러므로 최소비용 경로가 (0-1-2-.....-N-0)라면 작업순서 (1-2-.....-N)의 처리시간을 최소화하는 최적 작업순서이다.

본 연구에서는 모든 제품 j에 대해 두 제품간의 최소 투입간격을 식 (2)에 의해 구한 후 [정리 1]에 의해 구해진 총처리 완료시간을 최소화하는 작업순서의 결정이 TSP와 같은 형태가 되므로 투입간격의 행렬표를 TSP모형으로

변환시켜 총처리 완료시간을 최소화하는 작업 순서와 방출시점을 구하였다.

TSP는 모든 마디를 단 1회씩만 방문하고 출발지로 돌아오는 최소비용의 운행경로를 찾는 문제로써 많은 알고리즘이 개발되어 있다[15].

[정리 2] 총처리 완료시간 $MK(N)$ 을 최소화하는 최적 작업순서는 모든 제품을 처리하는데 필요한 AGV 댓수를 최소화 한다.

증명 : 식 (2)에 의해 구해진 비용 C_{ij} 는 I/O 작업장에서의 AGV휴지 및 라인에 투입된 AGV의 대기시간을 최소화하는 AGV의 제품간 최소 투입간격이다. 그러므로 비용 C_{ij} 의 최소화에 의한 총처리 완료시간을 최소화하는 작업순서는 AGV의 운용효율을 최대화하기 때문에 모든 제품을 처리하는데 필요한 AGV는 최소화 된다. ■

v 를 FMS에서 이용할 수 있는 AGV의 댓수라 한다면 이용댓수의 제한이 없는 경우 필요로 하는 최소 AGV의 댓수는 다음 식을 만족하는 v 의 최소치와 같다[2].

$$E_j(M) + S(0) \leq E_{j+v}(0); j=1, \dots, N-v, v=1, \dots, N(6)$$

그러나 AGV의 댓수가 v 대로써 제한적 일때, 한정된 AGV가 라인상의 대기가 발생하지 않고서 모든 단위부하에 이용될 수 있도록 하기 위해서는 이용하고자 하는 AGV의 투입시점이 식 (6)을 만족해야 한다. 만약, $E_j(M) + S(0) > E_{j+v}(0)$ 인 경우 제품 j 에 이용되었던 AGV가 다음제품 즉 $(j+v)$ 번째 이용될 수 없기 때문에 투입시점 $E_{j+v}(0)$ 은 다음 식에 의해 수정되어야 한다.

$$\begin{aligned} E'_{j+v}(0) &= E_{j+v}(0) + \Delta E_{j+v}(0) \\ \Delta E_{j+v}(0) &= E_{j+v}(0) - \{E_j(M) + S(0)\} \end{aligned} \quad (7)$$

이 때 $E_{j+v}(0)$ 가 전혀 수정되지 않았다면,

v 대 미만의 AGV가 필요함을 의미하므로 식 (6)에 의해 구해진 최소댓수를 한정된 AGV댓수 v 에서 빼면 그 값이 유효 AGV 댓수로서 필요한 경우에는 다른 부문에 이용될 수 있을 것이다.

이러한 정리와 수식들을 토대로 하여 AGV가 라인에 투입된 후 발생하는 대기시간이 최소화 되도록 제품의 투입시점을 조절하고, 제품투입간격을 고려한 작업순서가 결정되면 Flow Shop형 FMS에 있어 필요 AGV댓수의 최소화와 총처리 완료시간을 최소화할 수 있다. 그 단계는 다음과 같다.

<알고리즘>

단계 1) 작업순서상 선행제품과 후행제품과의 비교에서 AGV의 투입 후 라인상의 대기시간을 최소화 하는 제품간 투입간격 $\Delta E_j(0)^*$ 를 식 (2)에 의해 구한다.

단계 2) 선행제품과 후행제품의 제품간 투입간격을 모든제품에 대해 구한 후 제품간 투입간격에 대한 행렬표를 작성한다.

단계 3) 제품간 투입간격을 고려한 [정리 1]의 총처리 완료시간이 최소가 되는 작업순서를 결정하기 위해 제품간 투입간격에 대한 행렬표를 식 (4)의 비용표 형태로 변환한다.

단계 4) 비용표에 TSP 알고리즘을 적용하여 최적작업순서를 결정한다.

단계 5) 필요한 최소 AGV 댓수 및 각 AGV의 투입시점을 AGV댓수 제한이 없는 경우는 식 (3)과 식 (6), 댓수제한이 있는 경우는 식 (3)과 식 (7)에 의해 구한다.

3.2 수치예제

품목별 단위부하의 크기가 제각기 다른 10개 제품이 5개 작업장에 동일한 순서를 거쳐 생산되며, 작업장간 단위부하의 AGV 이동시간을 모두 1로 가정한다. 각 단위부하에 대한 작업장별 처리시간 $P_j(i)$ 는 <표 1>과 같고 (단계 1)과 (단계 2)에 의해 10개 제품의 작업순서상 선행제품과 후행제품을 비교하여 AGV의 투입 후 라인상의 대기 시간을 최소화 하는 제품간의 투

입간격을 모든 제품에 대해 구한다.

제품간 투입간격을 고려하여 총처리 완료시간을 최소화하는 작업순서를 구하기 위해 C_{0i} 에 해당하는 각 제품별 처리시간의 합과 C_{M0} 에 해당하는 운반시간의 합을 0열과 행에 각각 첨가하여 (단계 2)의 결과를 비용표 형태로 변형한 것이 <표 2>이다.

<표 2>는 0에서 출발하여 최종 목적지를 거

<표 1> 각 단위부하의 작업장별 처리시간[$P_j(i)$]

$j \setminus i$	1	2	3	4	5
1	10	7	13	11	10
2	5	20	23	21	18
3	25	26	8	25	14
4	15	17	4	5	3
5	3	3	20	24	26
6	20	17	14	18	9
7	18	12	5	9	15
8	12	12	9	9	10
9	7	16	14	8	27
10	16	8	7	7	4

<표 2> 비용표 형태로 변형된 투입간격 행렬

$j-1 \setminus j$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	*	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1	51	*	12	10	10	24	10	10	10	10	13
2	87	46	*	10	46	43	18	43	45	42	49
3	98	57	46	*	57	58	33	54	56	53	60
4	44	22	27	15	*	30	15	15	20	25	16
5	76	35	7	3	35	*	7	32	34	31	38
6	78	39	32	20	37	45	*	34	36	33	40
7	59	20	25	18	18	29	18	*	18	23	21
8	52	16	19	12	12	27	12	12	*	17	14
9	72	31	18	7	31	31	7	28	30	*	34
10	42	16	19	16	16	25	16	16	16	17	*

쳐 0으로 다시 돌아오는 최소비용경로를 찾는 TSP의 형태가 된다.

(단계 4)로써 TSP 알고리즘을 적용하여 최소비용경로가 구해지면 그 경로가 곧, 제품의 최적 작업순서가 된다.

본 연구에서는 TSP의 많은 알고리즘 중 행과 열을 감소시킨 후 최적해를 찾는 분지한계(branch and bound)법에 의해 비교적 신속히

최적해를 구할 수 있는 Little's Algorithm[11, 15]을 이용하였다. Little's Algorithm의 적용 결과 최소비용경로는 0-5-2-3-9-6-7-1-8-4-10-0과 같다. 가상제품(Dummy Item)인 0을 제외 하면 최적작업순서는 5-2-3-9-6-7-1-8-4-10과 같고 그 때의 총처리 완료시간은 216이며, 필요한 AGV의 댓수는 식 (3)과 식 (6)에 의해 5대임을 알 수 있다. AGV의 댓수가 4대로 한정

<표 3> 각 단위부하의 투입시점 및 작업장별 방출시점 (AGV의 댓수제한이 없는 경우)

작업순서	$E_j(0)$	$E_j(1)$	$E_j(2)$	$E_j(3)$	$E_j(4)$	$E_j(5)$
5	0.0	4.0	8.0	29.0	54.0	81.0
2	7.0	13.0	34.0	58.0	80.0	99.0
3	17.0	43.0	70.0	79.0	105.0	120.0
9	70.0	78.0	95.0	110.0	119.0	147.0
6	77.0	98.0	116.0	131.0	150.0	160.0
7	111.0	130.0	143.0	149.0	159.0	175.0
1	131.0	142.0	150.0	164.0	176.0	187.0
8	141.0	154.0	167.0	177.0	187.0	198.0
4	153.0	169.0	187.0	192.0	198.0	202.0
10	169.0	186.0	195.0	203.0	211.0	216.0

<표 4> 각 단위부하의 투입시점 및 작업장별 방출시점 (AGV의 댓수가 4대로 제한된 경우)

작업순서	$E_j(0)$	$E_j(1)$	$E_j(2)$	$E_j(3)$	$E_j(4)$	$E_j(5)$
5	0.0	4.0	8.0	29.0	54.0	81.0
2	7.0	13.0	34.0	58.0	80.0	99.0
3	17.0	43.0	70.0	79.0	105.0	120.0
9	70.0	78.0	95.0	110.0	119.0	147.0
6	82.0	103.0	121.0	136.0	155.0	165.0
7	116.0	135.0	148.0	154.0	164.0	180.0
1	136.0	147.0	155.0	169.0	181.0	192.0
8	146.0	159.0	172.0	182.0	192.0	203.0
4	158.0	174.0	192.0	197.0	203.0	207.0
10	174.0	191.0	200.0	208.0	216.0	221.0

〈표 5〉 단위부하의 작업순서 및 AGV 투입시점

Unit Load(j)	작업처리순서	AGV갯수 제한이 없는 경우		AGV가 4대로 제한된 경우	
		AGV #	투입시점[E _j (0)]	AGV #	투입시점[E _j (0)]
1	5	AGV 1	0.0	AGV 1	0.0
2	2	AGV 2	7.0	AGV 2	7.0
3	3	AGV 3	17.0	AGV 3	17.0
4	9	AGV 4	70.0	AGV 4	70.0
5	6	AGV 5	77.0	AGV 1	82.0
6	7	AGV 1	111.0	AGV 2	116.0
7	1	AGV 2	131.0	AGV 3	136.0
8	8	AGV 3	141.0	AGV 4	146.0
9	4	AGV 4	153.0	AGV 1	158.0
10	10	AGV 5	169.0	AGV 2	174.0
필요한 AGV갯수 총처리 완료시간		5 216.0		4 221.0	

적일 때 다섯 번째 제품 6의 투입시점을 식 (3)과 식 (7)에 의해 수정된다면 총처리 완료 시간은 221이 된다. AGV 갯수를 1대 줄이면 총처리 완료시간은 5만큼 증가한다. AGV 갯수와 생산량과의 문제는 경제성평가에 관한 문제로 여기서는 고려하지 않는다. 작업장간 단위부하의 이동시간과 AGV의 투입간격을 고려한 각 제품별 AGV 투입시점과 작업장별 방출시점은 〈표 3〉, 〈표4〉와 같다.

4. 결 론

단위부하를 적재한 AGV가 운반 및 작업대로써 Flow-Shop형 FMS에서 이용되는 경우 AGV의 운영효율을 향상시키기 위해 본 연구가 이뤄졌다. I/O작업장에서의 AGV휴지 및 라인에 투입된 AGV의 대기시간을 최소화함으로써

총처리 완료시간을 최소화시키는 작업순서를 AGV의 투입간격과 작업장간 이동시간을 고려하여 외판원 문제(TSP)에 의해 결정하고 필요한 AGV 갯수 및 각 제품별 AGV 투입시점을 결정하는 알고리즘을 연구에서 제시하였다. 구해진 작업순서는 라인에 투입된 AGV의 대기시간을 최소화 하기 때문에 필요한 AGV의 갯수를 최소화 한다.

이러한 결과는 필요한 AGV 갯수의 최소화 에 의한 최대활용과 FMS에서의 총처리 완료 시간의 최소화와 원활한 자재흐름을 위한 생산 시스템 설계시 유용할 것이다. 특히 제한된 AGV의 효율향상과 제조셀(cell)간의 AGV 할당에도 유용할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김종한, 박종현, 박진우, 정성진, "FMS의 실시간 일정계획을 위한 수리적 의사결정에 관한 연구," 「대한산업공학회지」, 제16권, 제2호(1990), pp.119-127.
- [2] 양대용, 정병희, 이종민, "Flow Shop 형태를 갖는 FMS에서의 AGV투입시점과 필요댓수의 결정," 「대한산업공학회지」, 제 17권, 제1호(1991), pp.109-115.
- [3] 李奉珍, 「製造業의 自動化戰略」, 韓國經濟新聞社, 1989, pp.201-203.
- [4] 최근의 무인반송차(AGV)의 개발현황, 「기계자동화」, 7월호(1990), pp.42-46.
- [5] Egbelu, P.J., "The Use of Non-Simulation Approaches in Estimating Vehicle Requirements in an Automated Guided Vehicle Based Transport System," *Material Flow*, Vol.4(1987), pp.17-32.
- [6] Egbelu, P.J. and J.M.A.Tanchoco, "Characterization of Automated Guided Vehicle Dispatching Rules," *International Journal of Production Research*, Vol. 22, No.3(1984), pp.359-374.
- [7] Egbelu, P.J. and N. Roy, "Material Flow Control in AGV Unit Road Based Production Lines," *International Journal of Production Research*, Vol.26, No.1 (1988), pp.81-94.
- [8] Grasso, V., "AGV-Served Assembly Lines: Influence of Sequencing and Launch Policies on System Performances," *International Journal of Production Research*, Vol.28, No.7(1990), pp.1385-1399.
- [9] Groover, M.P., *Automation, Production System & Computer Integrated Manufacturing*, Prentice-Hall International, 1987.
- [10] Koff, G.A., "Automatic Guided Vehicle Systems: Applications, Controls, and Planning," *Material Flow*, Vol.4(1987), pp.3-16.
- [11] Little, J.D.C., K.G. Murty, D.W. Sweeney and C. Karel, "An Algorithm for the Traveling Salesman Problem," *Operations Research*, 11(1964), pp.972-989.
- [12] Maxwell, W.L. and J.A. Muckstadt, "Design of Automated Guided Vehicle Systems," *IIE Transactions*, Vol.14, No.2(1982), pp.114-124.
- [13] Newton, D., "Simulation Model Helps Determine How Many Automated Guided Vehicles Are Needed," *Industrial Engineering*, Vol.17, No.2(1985), pp.68-78.
- [14] Reddi, S.S. and C.V. Ramamoorthy, "On the Flow-shop Sequencing Problem with No Wait Process," *Operational Research Quarterly*, Vol.23, No.3 (1972), pp.323-330.
- [15] Smith, D.K., *Network Optimization Practice: A Computational Guide*, John Wiley & Sons, 1982.
- [16] Tanchoco, J.M.A., P.J. Egbelu and F. Taghaboni, "Determination of the Total Number of Vehicles in the an AGV-Based Material Transport System," *Material Flow*, Vol.4(1987), pp.33-51.

-
- [17] Wysk, R.A., P.J.Egbelu, C.Zhou and B. K.Ghosh, "Use of Spread Analysis for Evaluating AGV Systems," *Material Flow*, Vol.4(1987), pp.53-64.