

# Tandem형 AGV를 통합한 셀형 제조시스템의 설계

고 창 성\*

## Design of Cellular Manufacturing Sysetms Integrating Automated Guided Vehicles under a Tandem Configuration

Chang Seong Ko\*

### Abstract

This study suggests a procedure for designing cellular manufacturing systems (CMS) which are combined with automated guided vehicles (AGVs) using a tandem configuration. So far most of the previous studies have dealt with conventional design problems not considering the layout and the characteristics of tranporters used in CMS. A mathematical model is developed using the service time to perform material transfers as a suitable measure. The service capacity of AGVs and space limitations are also reflected in this model. As the model can be shown strongly NP-hard, a heuristic algorithm is presented, in which each cell is temporarily formed using both the set covering model and similarity coefficients, and then locations of the cells are determined by means of tabu search and finally machine perturbations are carried out. An example problem is solved to demonstrate the algorithm developed.

## 1. 서 론

셀형 제조시스템 (Cellular Manufacturing Systems)은 그동안 전통적인 배치형 (Batch-type) 제조시스템에서 Group Technology 기법을

통해 작업준비시간 (Set-up Time) 단축, 재공품 재고 (Work-in-process Inventory)의 축소 및 작업소요시간 (Throughput Time)을 절감시킬 수 있게 함으로써 생산성을 향상시키는 제조시스템의 형태로 부각되어 국내외에서 많은 연구가 수행되었다. 즉, 셀형 제조시스템은 부품

\* 경성대학교 산업공학과

과 기계 간의 유사성 (Similarity)을 분석하여 복잡하고 큰 규모로 인하여 통제 및 조정이 매우 힘든 제조시스템을 최소의 물류비용을 갖는 개별 Sub-제조시스템 (Manufacturing Cell)로 분리함으로써 전술한 장점을 얻게 하는 제조시스템이다.

셀형 제조시스템에 대한 연구형태를 단계별로 분류하면 다음의 3가지로 나눌 수 있다. 첫 분야는 가공부품의 필요 공정계획을 고려하여 셀형 제조시스템에 투입될 소요 기계의 형태 및 갯수를 결정하는 것이며, 두 번째 분야는 기 결정된 기계를 가공부품의 특성을 고려하여 어떻게 각 기계 및 부품을 각 Manufacturing Cell에 할당할 것인가 하는 연구분야이다. (통칭하여 셀 구성 (Cell Formation) 문제라고 지칭한다.) 마지막으로 셀 구성이 끝난 이후 불가피 발생하는 애로기계 (Bottleneck Machines) 또는 애로부품 (Bottleneck Parts)를 어떻게 처리할 것인가 즉 애로기계의 추가 구입 또는 애로부품의 하청 등을 취급하는 연구이다. 이 중 기존의 대부분의 연구는 두 번째 분야에 속하는 것으로서 셀 구성 문제를 해결하는 많은 수리적 또는 탐색적 연구가 진행되었다.

셀 구성에 관한 연구 형태도 다시 2 분야의 연구 형태로 분류할 수 있다. 첫 번째는 가공부품의 각 기계에 대한 가공시간, 공정순서 정보, 특정 부품의 동일 기계에 대한 비연속 (Nonconsecutive) 공정 유무 등의 운영 제약조건들을 고려하지 않고 단순히 기계-부품 근접행렬 (Machine-part Incidence Matrix)에만 기초하여 셀 구성을 다룬 연구 (McAuley 1972; Rajagopalan 과 Batra 1975; King 1980; Seifoddini 와 Wolfe 1986, Kumar 외 2인 1986; Kusiak 1987)와 일부의 운영 제약조건이 모형

에 반영된 연구 (Ballakur 와 Steudel 1987; Askin 과 Chiu 1990; Logendran 1990, 1991; Logendran과 Ramakrishna 1995)로 나눌 수 있다. 그러나, 이들 연구 모두 각 셀의 위치는 고정된 위치로 이미 알려져 있는 것으로 가정했다. 따라서, 실제적 물류장비가 결합된 셀형 제조시스템을 설계하고자 할 경우 각 셀의 위치와 또한 각 셀에 속할 기계에 대한 사항 역시 해결해야 할 과제로 여전히 남게 된다. Logendran 과 Ko (1996)는 Tandem 형태 하에서의 AGV (Automated Guided Vehicle) 시스템을 셀형 제조시스템에 결합한 문제를 다루었으나, 셀형 제조시스템 설계 시 필수적으로 고려해야 할 공간제약과 각 AGV의 운행 능력 제약조건이 반영되지 않았으며 또한 개발 모형을 해결하는 알고리즘에서 단순히 셀의 위치 변동만을 통해 총 처리시간을 최소화하는 셀의 위치를 결정하였으나 고정된 셀 간의 일부 기계의 이동 또는 교환을 통해 처리시간을 보다 감소시킬 수 있는 가능성을 고려하지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 Logendran과 Ko의 연구에서와 동일하게 물류장비로서 Tandem 형태 하에서의 AGV를 활용한 셀형 제조시스템의 설계에 관한 연구로서 이들이 반영하지 못한 공간 제약과 각 AGV의 운행 능력을 개발 수리적 모형에 반영하고, 이를 해결하기 위해 새로이 알고리즘을 개발하고자 한다.

AGV 시스템은 그동안 서로 다른 제조공정을 통합시킬 수 있는 주요 물류기기로서 그동안 학술적으로나 산업체에서 많은 연구가 수행되어 왔으며, 각 AGV의 처리 영역에 따라 크게 두 가지 형태로 분류된다. 첫째는 전통적인 AGV 시스템으로서 다수의 AGV가 존재하고 각 AGV는 시스템 내의 어떠한 작업장도 처리할 수

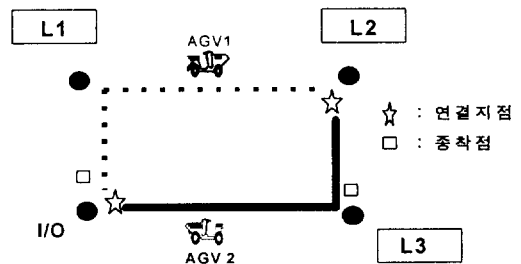
있는 시스템이다. 또 하나는 Tandem 형태의 AGV시스템으로서 각 AGV가 담당하는 경로는 중복되지 않도록 정해져 있으며, 인접된 경로 간의 흐름은 연결지점 (Transit Points)을 통해 연결될 수 있도록 되어 있다 (Bozer 와 Srinivasan 1989, 1991; Lin 외 2인 1993). 이 시스템의 가장 큰 장점은 전통적 AGV 시스템에서 발생될 수 있는 충돌의 경우를 고려할 필요가 없다는 것이다. 본 연구에서는 Tandem 형태의 AGV 시스템을 물류기기로써 활용하며 또한 이 시스템에서 일반적으로 채택되는 FEFS (First-encountered-first-served) 원칙 대신에 FCFS (First-come-first-served) 원칙이 적용된다.

[그림 1]에서는 3개의 셀 C1, C2, C3가 대상 지점 L1, L2, L3에 위치한 셀형 제조시스템을 보여 주고 있다. 물류장비로서는 2대의 AGV가 활용되고 있으며, 이 중 AGV1은 I/O (Input/Output Point), C1, C2를 순환하는 경로를 담당하며 AGV2는 I/O, C2, C3를 처리한다. 그리고, I/O와 C2는 두 개의 연결지점 (TRP1, TRP2)로서 전담된 경로 간의 흐름이 존재할 시에 연결통로로 활용된다. AGV의 운영을 보다 자세히 살펴보면 각 AGV의 종착점 (Terminal Points)는 I/O와 C3를 가정하고 있다. 또한, 부품 또는 자재가 상차된 (Loaded) AGV의 속도는 빈 (Empty) AGV 보다 느린 것으로 가정하며 본 연구에서 개발될 수학적 모형에 이를 반영한다. 모형의 목적함수는 계획 기간 동안의 AGV의 총처리시간으로 정의하며 인접된 두 지점까지의 빈 그리고 상차된 AGV의 처리시간은  $t_1$ 과  $t_2$ 로 설정하며 이 경우  $t_1 < t_2$ 가 된다.

예를 들어 부품을 C2에서 I/O로 이동시키라는 명령을 수행하는 과정을 살펴보면 두 가지

방법이 존재한다. 첫째는 빈 AGV1이 I/O에서 C2로 이동하고 ( $2t_1$ ), 다음에 부품을 상차하여 C2에서 I/O로 이동하는 것이다 ( $2t_2$ ). 이 경로의 총 처리시간은  $2(t_1+t_2)$ 가 된다. 다른 방법은 빈 AGV2가 C3에서 TRP2로 이동하고 ( $t_1$ ) 다음으로 C2에서 I/O로 부품을 상차한 채 이동하는 것이다 ( $2t_2$ ). 따라서, 이 때의 총 처리시간은  $t_1+2t_2$ 가 되어 전 방법에 비해 적은 시간으로 처리되므로 본 연구에서는 후자의 방법으로 처리하는 것을 선택하게 된다. 이 때, 이를 수행하기 위해 소비되는 AGV1과 AGV2의 소요시간은 각각 0과  $2(t_1+t_2)$ 가 된다. AGV2의 소요시간과 총처리시간의 차이는 명령 수행 후 종착점으로 귀환하는 데 소비되는 시간을 고려했기 때문이다.

전술된 셀형 제조시스템 형태 하에서의 셀 구성 및 셀의 위치 결정을 위해 2장에서는 수학적 모형을 구축하고, 3장에서는 구축된 모형을 풀기 위해 탐색적 알고리즘을 개발하며, 4장에서는 기존 연구에서 활용되었던 예제에 본 연구에서 개발된 알고리즘을 적용한다.



[그림 1] Tandem 형태 하의 AGV를 결합한 셀형 제조시스템의 예.

## 2. 수학적 모형

전 장에서 서술된 셀형 제조시스템의 설계 모형을 구축하기 위해 사용될 주요 기호는 다음과 같다.

기호 :

- $i = 1, \dots, m$  기계형
- $j = 1, \dots, n$  부품
- $l = 1, \dots, c$  셀
- $r = 0, 1, \dots, c$  대상지점(0은 I/O를 나타낸다.)
- $h = 1, \dots, w$  AGV 형
- $y_{lr} = \begin{cases} 1 & \text{셀 } l \text{이 대상지점 } r \text{에 위치하면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$
- $z_{jkl} = \begin{cases} 1 & \text{부품 } j \text{의 } k \text{번째 공정이 셀 } l \text{에} \\ & \text{서 수행되면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$
- $x_{ipl} = \begin{cases} 1 & \text{기계형 } i \text{에 속한 임의의 기계} \\ & p \text{가 셀 } l \text{에 할당되면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$
- $s_{jki} =$  부품  $j$ 의  $k$ 번째 공정을 수행하기 위해 필요한 기계형  $i$ 의 작업준비 시간
- $t_{jki} =$  부품  $j$ 의  $k$ 번째 공정을 기계형  $i$ 에서 수행하는 데 소요되는 가공시간

- $d_j =$  계획기간 동안의 부품  $j$ 의 수요
- $q_j =$  부품  $j$ 의 배치 크기
- $p_{jki} =$  계획기간 동안에 기계  $i$ 에서 수행되는 부품  $j$ 의  $k$ 번째 공정을 처리하는데 소요되는 총시간,  
즉  $p_{jki} = (s_{jki}/q_j + t_{jki})d_j$
- $b_j =$  계획기간 동안에 생산되는 부품  $j$ 의 배치 수
- $k_j =$  부품  $j$ 가공을 위해 필요한 공정 수
- $S_i =$  기계  $i$ 가 차지하는 공간
- $SP_l =$  셀  $l$ 의 가용 공간
- $m_i =$  기계형  $i$ 의 필요 기계 댓수
- $C_p =$  계획기간 동안의 기계형  $i$ 에 속하는 임의의 기계  $p$ 의 가용 능력 (단위는 시간)
- $MM =$  복수 기계를 갖는 기계형의 집합, 즉  $m_i > 1$  for  $i \in MM$
- $PP =$  복수 공정이 필요한 부품 집합, 즉  $k_j > 1$  for  $j \in PP$
- $f(u,v) =$  부품을 대상지점  $u$ 에서  $v$ 로의 이동 시간으로 여기서  $u, v = 0, 1, \dots, c$
- $g_h(u,v) =$  부품을 대상지점  $u$ 에서  $v$ 로의 처리하는데 소비된 AGV  $h$ 의 소요시간
- $coa =$  AGV의 가용능력 (단위는 시간)

이상의 기호를 활용하여 개발된 모형은 다음과 같다.

Minimize

$$\begin{aligned}
 Z = & \sum_{j=1}^n b_j \left[ \sum_{l=1}^c \sum_{r=1}^c z_{jll} \cdot y_{lr} \cdot f(0, r) \right. \\
 & + \sum_{\substack{k=1 \\ \text{and} \\ j \in PP}}^{k_j-1} \sum_{l_1=1}^c \sum_{r_1=1}^c z_{jkl_1} \cdot y_{l_1r_1} \left\{ \sum_{l_2=1}^c \sum_{r_2=1}^c z_{j(k+1)l_2} \cdot y_{l_2r_2} \cdot f(r_1, r_2) \right\} \\
 & \left. + \sum_{l=1}^c \sum_{r=1}^c z_{jkl,l} \cdot y_{lr} \cdot f(r, 0) \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

subject to

$$\sum_{r=1}^c y_{lr} = 1 \quad ; l=1, \dots, c \tag{2}$$

$$\sum_{r=1}^c y_{lr} = 1 \quad ; r=1, \dots, c \tag{3}$$

$$\sum_{l=1}^c x_{ipl} = 1 \quad ; \begin{matrix} i=1, \dots, m \\ p=1, \dots, m_i \end{matrix} \tag{4}$$

$$\sum_{l=1}^c z_{jkl} = 1 \quad ; \begin{matrix} j=1, \dots, n \\ k=1, \dots, k_j \end{matrix} \tag{5}$$

$$Max G_h \leq coa \quad ; h=1, \dots, w$$

where

$$G_h = \sum_{j=1}^n b_j \left[ \sum_{l=1}^c \sum_{r=1}^c z_{jll} \cdot y_{lr} \cdot g_h(0, r) + \sum_{k=1}^{k-1} \sum_{l_1=1}^c \sum_{r_1=1}^c z_{jkl_1} \cdot y_{l_1 r_1} \left\{ \sum_{l_2=1}^c \sum_{r_2=1}^c z_{j(k+1)l_2} \cdot y_{l_2 r_2} \cdot g_h(r_1, r_2) \right\} \right. \\ \left. + \sum_{l=1}^c \sum_{r=1}^c z_{jkl} \cdot y_{lr} \cdot g_h(r, 0) \right] \tag{6}$$

and  
j ∈ PP

$$\sum_{p=1}^{m_i} C_{ip} \cdot x_{ipl} \geq \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{k_j} d_{jki} \cdot z_{jkl} \quad ; \begin{matrix} l=1, \dots, c \\ i \in MM \end{matrix} \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{p=1}^{m_i} x_{ipl} \cdot y_{lr} \cdot S_i \leq SP_l \quad ; \begin{matrix} l=1, \dots, c \\ r=1, \dots, c \end{matrix} \tag{8}$$

위에서 구축된 모형에서 목적함수는 특정부품이 I/O에서 첫 공정을 담당하는 기계로 이송되고 다음으로 여러 공정을 담당하는 기계 간에 이동한 다음 최종적으로 I/O를 통해 반출될 때까지의 AGV의 총처리시간을 나타내고 있다. 제약조건 (2), (3), (4)는 각각 셀, 대상위치, 기계 등이 취할 수 있는 범위를 지칭하는 이진변수 (Binary Variables)에 대한 사항을 나타내며, 제약조건 (5)는 부품의 공정은 분리되어 다른 셀에서 가공될 수 없다는 것을 표시하고 있다. 제약조건 (6)은 특정 운송 명령을 처리하기 위해 소비되는 각 AGV의 총소요시간에 대한 최

대값을 보여 주고 있다. 제약조건 (7)은 셀 내의 기계 가공능력을 만족시켜야 하는 것이며, 마지막 조건 (8)은 각 셀의 공간제약을 나타낸다. 그러나, 위 모형은 Strongly NP-hard 문제에 속한다는 것을 알 수 있기 때문에 최적해 즉 최소의 총처리시간을 갖는 셀 구성 및 셀 위치 결정을 찾는다고 하는 것은 매우 힘들다는 것을 알 수 있다 (Logendran과 Ramakrishna 1995, Logendran과 Ko 1996). 따라서, 상기 모형을 풀기 위한 새로운 알고리즘을 개발하는 것이 필요하다.

### 3. 탐색적 알고리즘

전 장에서 개발된 수학적 모형에서 최적 또는 근사최적해를 도출하기 위해 본 연구에서 개발한 탐색적 알고리즘은 다음의 4단계를 통해 수행된다.

#### 단계 1 : 부품/복수기계 할당

이 단계에서는 특정 부품의 가공이 2이상의 댓수가 필요한 특정 기계에서 수행될 경우 어느 기계에 할당할 것인가를 결정하는 것이다. 즉, 각 복수기계에서 수행되는 부품의 작업부하량 (Workload)를 순서화시킨 후, 최소 작업부하량을 갖는 기계에 순서대로 할당시킨다. 이 때 동일 작업부하량의 경우에는 임의대로 할당한다.

#### 단계 2 : 셀 구성

이 단계에서 채택한 기법은 Logendran(1991)의 연구에서 활용된 알고리즘에 기초했다. 즉, Partial Set Covering 모형 (Francis 외 2인 1992)을 활용하여 주기계를 선정한 후 이 분야 연구에서 많이 채택되는 유사계수 (Similarity Coefficient)를 이용하는 것이다.

#### 단계 2.1 : 주기계 선정

여기에서는 각 셀을 대표하는 주기계를 선정하는 것으로 가장 높은 작업부하량을 갖는 기계를 찾은 후 셀 C1에 할당한다. 이 때 동일 작업부하량의 경우에는 해당 기계에서 가공될 부품 종류수가 많은 것을 선정한다. 다음으로 Partial Set Covering 모형을 이용하여 나머지 대상 셀들의 주기계를

선정한다. 다음 식은 선택되지 않은 각 기계들이 갖는 포함치(Covering Value)를 계산하는 것이다.

$$z_i = \sum_{j=1}^n [a_{ij} - ak_j], 0] \forall i, i \neq k \quad (9)$$

잔여 기계 중에서 포함치가 가장 큰 기계들이 순서대로 나머지 셀들의 주기계로 선정된다. 이 때, 동일 포함치의 경우에는 작업부하량이 고려된다.

#### 단계 2.2 : 유사계수를 활용한 Clustering

여기에서는 셀 구성 문제에서 대표적으로 채택되는 다음과 같은 유사계수를 활용하여 셀에 속할 기계들을 그룹화하는 것이다. 이 때, 제약조건 (8)의 만족을 점검해야 한다.

$$s_{kl} = \max(n_{kl}/n_k, n_{kl}/n_l) \quad (10)$$

여기서,  $n_k$  = 기계 k에서 가공되는 부품의 종류수

$n_{kl}$  = 기계 k와 l에서 가공되는 부품 종류수

#### 단계 3 : 셀 위치 선정

여기에서는 전 단계까지 확정된 셀의 위치를 Tabu Search를 활용하여 최소 또는 근사최소 처리시간을 갖도록 결정하는 것이다 (Glover 1990). 이 때, 각 AGV의 가용 소요시간에 대한 제약조건 (6)을 점검해야 한다. 우선 대상 셀 C1, C2, ... 를 대상지역 L1, L2, ... 에 임의대로 초기해로 정해놓은 후, 셀의 위치를 하나

씩 이동함에 따라 목적함수 즉 AGV의 처리시간의 변화에 따른 부분최적해를 탐색한 후, 이들 값 중 최소값을 갖는 각 셀의 위치를 최종 결정하는 것이다.

먼저 초기해를 대상목록 (Candidate List : CL)에 등록한다. 이 경우 CL은 장차 변동될 셀 위치 형태 (Configurations)을 구성하게 된다. 다음으로 색인목록 (Index List : IL)으로 이것은 탐색과정 중 획득되는 부분최적값을 갖는 셀 위치 형태를 보관하게 된다. 이 때 만족수준 (Aspiration Level : AL)은 그때까지의 최소 처리시간으로 정한다. 만일 수행과정 중 제약조건을 만족시키지 못하면 따로이 현재의 목적함수값에 임의의 큰 값을 더 하도록 한다. 일정횟수를 수행한 후에 그 때까지 얻어진 부분최적해 중 가장 작은 값을 선택한다.

**단계 4 : 셀 간의 기계이동**

단계 3에서는 셀 내의 부품을 고정시킨 후, 셀의 위치를 선정하였으나 여기에서는 셀 위치를 고정시킨 후 일부 기계의 이동 또는 교환들을 통해 총 처리시간을 절감시키는 것이다. 즉, 셀 간의 흐름이 다수 발생하는 애로부품 (Bottleneck Parts)을 찾은 후, 이 부품 중에서도 처리시간이 큰 애로기계 (Bottleneck Machines)를 대상으로 다른 셀으로의 이동 또는 교체를 통해 총 처리시간을 절감시키는 것이다. 이 때 공간제약조건 (8)과 각 AGV의 가용 운송비용에 대한 제약조건 (6)을 점검해야 한다.

**4. 예제 수행**

본 연구에서는 Logendran과 Ramakrishna(1995)와 Logendran과 Ko(1996)의 연구에서 채택되었던 동일 예제를 대상으로 개발 알고리즘을 검증한다. <표 1>에는 7 종류의 부품과 5 종류의 기계에 대한 가공정보가 나와 있으며, 각 공정순서는 기계번호의 올림순으로 수행된다. 예를 들면, 부품 P4의 공정은 기계 M2-M4순으로 수행된다. 또한, 본 예제에서는 실제적 적용을 반영하는 동일 기계에 대한 비연속공정 (Nonconsecutive Operations)도 다룬다. 즉, P1의 공정순서는 M2-M4-M2-M5를 따르며, 이 때, M2가 비연속공정을 수행하는 기계가 된다. 그리고, 각 기계의 가용능력은 8시간으로 가정한다. 따라서, 본 예제에서 필요한 M2와 M4는 각각 2대, 3대가 되며 나머지는 각 1대가 된다. 또한, 각 부품의 1일 배치 (Batch)수와 이를 처리하는 데 소요되는 기계시간이 <표 1>에 나와 있다. 그리고 본 예제에서는 각 기계의 크기는 동일한 것으로 가정하여 각 셀에는 공간제약상 최대 3대의 기계가 할당될 수 있다. 따라서, 총 소요기계 8대를 갖고서 형성될 수 있는 최대 셀 수는 3대가 되며, 각 AGV의 가용 소요시간은 300으로 가정한다. 본 예제에서 채택한 셀형 제조시스템은 [그림 1]의 형태를 취하게 된다. 이 때, 최소 또는 근사 최소 처리시간을 갖는 L1, L2 및 L3에 위치할 셀과 각 셀에 속할 기계들은 전 장에서 개발된 알고리즘에 따라 다음의 절차와 같이 수행된다.

**단계 1 : 부품/복수기계 할당**

<표 1>에서 M2와 M4는 각각 2대와 3대가

소요된다. 먼저 M2를 살펴보면 P1의 첫 공정은 5시간으로 가장 커므로 우선적으로 M21에 할당하고 다음으로 P4-P2-P6순으로 M22에 할당한다. 이 경우 M21과 M22에 부과된 작업부하량은 각각 5, 6시간이므로 P1의 세번째 공정은 M21에서 수행된다. 같은 방법으로 M4에 대해 수행하면, P4는 M41, P6는 M42, P1은 M43에 할당된다. 다음으로 P7의 작업부하량이 2.5시간이므로 2시간은 M43, 나머지 0.5시간은 M42에서 수행된다. 이 때, 개발 모형의 제약조건 (5)에 의해 반드시 M42와 M43는 동일 셀에 속해야 한다.

**단계 2 : 셀 구성**

단계 2.1 : 주기계 선정

각 셀을 대표하는 주기계 선정과정은 우선 가장 큰 작업부하량을 갖는 M43를 C1에 할당한다. 다음으로 식 (10)에 의해 M3와 M22가 고려될 수 있으나 M3가 보다 큰 작업부하량을 갖기 때문에 C2에 할당되고, 같은 방법으로 M5가 C3의 주기계로 선정된다.

단계 2.2 : Clustering

유사계수를 활용하기 전에 제약조건 (5)에 의해 P7의 세번째 공정은 동일 셀 내에서 이루어져야하므로 우선적으로 M42는 C1에 할당된다. 다음으로, 식 (10)에 의해 M21과 M43, M1과M3, M41과 M5의 유사계수가 최대값인 1을 가지므로 M21은 C1, M1은 C2, M41은 C3에 속하게 된다. 이상의 과정을 거친 후 남은 유일한 기계는 M22이다. 그러나, C1은 이미 제약조건 (9)에 의해 M22를 받을 수가 없어 택할 수 있는 셀은 C2와 C3뿐이다. 역시 유사계수를 적용하여 M22는 C3에 할당된다.

**단계 3 : 셀 위치 선정**

단계 2에서 잠정적으로 확정된 셀을 초기해로 C1을 L1, C2를 L2, C3를 L3에 위치시킨다. <표 2>에는 대상위치 간의 AGV의 처리시간 및 각 AGV의 소요시간 정보가 나와있다. 여기서  $t_1$ 과  $t_2$ 는 각각 빈 (Empty), 부품이 상차된 AGV의 인접된 두 지점 간의 처리시간을 나타낸다. 본 예제에서는  $t_1=2$ 과  $t_2=3$ 으로 가정한다. <표 3>은 7개의 전 부품을 이송하는 AGV의 총처리시

<표 1> 기계-부품 작업부하 행렬

기계형	부 품							작업부하량 (시간)	기계수
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7		
M1		0.5			5.0		1.5	7.0	1
M2	5.0,1.0	2.0		2.5		1.5		12.0	2
M3		2.5			3.5	0.5	0.5	7.0	1
M4	0.6			7.5		2.5	2.5	22.5	3
M5	1.0		3.0		1.0	2.0	2.0	7.0	1
배치수	3	4	2	3	2	6	2		



간과 각 AGV의 총소요시간을 보여주고 있다. 여기서, 전장에서 서술한 Tabu Search에 기초한 셀의 이동을 통한 총처리시간을 절감할 수 있는 알고리즘을 적용한다.

먼저 초기해를 CL에 등록하며 이 때의 AL은 <표 3>에서 376이 된다. 다음으로 인접된 셀의 위치를 하나씩 이동시키면 새로이 두 가지 셀 위치 형태를 얻게 된다. 첫째는 C2를 L1, C1을 L2에, 또 하나는 C3를 L2, C1을 L3로 이동시킨다. 만일 수행 중 제약조건을 위반할 경우에는 벌칙으로 1000을 총처리시간에 추가한다. 두 형태는 각각 370과 1,378 (AGV 2의 소요시간이 335가 되어 제약조건 (7)의 300을 초과하여 벌칙비용 1000이 추가됨)의 처리시간을 얻게 된다. 따라서, 370의 처리시간을 갖는 형태가 CL에 두 번째로 등록되며, AL은 370으로 수정된다. 그리고 L1-C1의 쌍은 Tabu List에 등록한다. 이 의미는 다음의 알고리즘 수행에

C1을 L1으로의 이동은 고려하지 말아라는 것이다. 이 때의 값은 '\*'를 가지며 장차 부분최적해가 될 가능성이 있다는 뜻이다. 또한, 바로 다음 수행 후 얻은 목표함수값이 370을 넘게 되면 '\*\*'로 전환되며, 이 형태는 부분최적해로서 IL에 새로이 등록된다. <표 4>는 본 단계에서의 수행결과를 보여 주고 있다. 여기서 우리는 네 번째 수행에서 360으로 제일 좋은 해를 갖게 되며, 이 때의 셀 위치 형태는 C1, C2, C3를 L3, L2, L1에 할당하는 것이다.

**단계 4 : 셀 간의 기계 이동**

여기에서는 일부 기계의 셀 간의 이동을 통해 목적함수값을 보다 더 감소시킬 수 있도록 하는 것이다.

단계 3의 수행 결과 고정된 셀에서 <표 3> 형태의 자료를 확보한 후, 처리시간이 가장 큰 값을 가지거나 또는 처리시간에서 2이상의 기계를 방

<표 2> 대상 지점간의 AGV 처리시간 및 소요시간

From \ To	0	L1	L2	L3
0		$t_2^*$		
		$t_1 + t_2^{**}$	$2(t_1 + t_2)$	0
		0 <sup>***</sup>	0	$t_1 + t_2$
L1	$t_1 + t_2$		$t_1 + t_2$	$2(t_1 + t_2)$
	$t_1 + t_2$		$3t_1 + t_2$	$t_1 + t_2$
	0		0	$t_1 + t_2$
L2	$t_1 + 2t_2$	$2t_1 + t_2$		$t_1 + t_2$
	0	$3t_1 + t_2$		0
	$2(t_1 + t_2)$	0		$t_1 + t_2$
L3	$t_2$	$2t_2$	$t_2$	
	0	$t_1 + t_2$	0	
	$t_1 + t_2$	$t_1 + t_2$	$t_1 + t_2$	

\* : 두 지점 간의 AGV 처리시간  
 \*\* : 두 지점 간의 AGV1 소요시간  
 \*\*\* : 두 지점 간의 AGV2 소요시간

문하는 것 중에서 0 아닌 값을 가진 이동횟수와 총이동횟수와의 비율이 가장 큰 것을 선정해 이것을 애로부품으로 선정한다. 따라서, 본 예제에서는 P2가 애로부품으로 선정된다. 다음으로, 이 부품을 처리할 때 가장 큰 처리시간을 갖게 하는 기계를 찾아 이 기계를 애로기계로 정의한다. 본 예제에서는 M1과 M3가 처리시간  $4 \times 13 = 52$ 로서 가장 크기 때문에 애로기계로 선정한다. 먼저, M3의 다른 셀으로의 이동 및 타 셀의 기계와의 교환을 생각하자. 우선 다른 셀로의 이동은 제약조건 (9)를 위반하게 되어 고려할 수 없고 단지 교환만을 고려한다. 이 경우 고려 대상으로는 C1의 M21, M42-M43, C3의 M22, M41, M5가 된다. 그러나, 교체를 통한 목적함수의 감소는 없어 M3는 C2에 남게 된다. 다음으로는 M1의 경우로서 이 또한 M3

와 같은 과정을 거치게 된다. 이 경우 우리는 C2의 M1과 C3의 M22의 교환을 통해 목적함수가 14 감소된 346을 얻게 된다. <표 5>는 최종적으로 얻어진 셀 내의 기계 및 위치를 보여주고 있다.

<표 5> 예제에서 알고리즘을 수행한 최종 결과

셀	대상지점	기계
C1	L3	M21, M42, M43
C2	L2	M22, M3
C3	L1	M1, M41, M5

만일 본 연구에서 개발된 탐색적 알고리즘에서 제약조건 (6)을 고려하지 않고 (7)을 완화시킨다면 Logenfran과 Ko (1996)의 연구와 동일 문제가 된다. 이 때 본 알고리즘을 그대로 적용하면 목적함수값이 이전 연구의 360에서 346

<표 3> 7개 부품의 셀 간 이송을 위해 소요되는 AGV의 처리시간 및 AGV1, 2 의 소요시간

부품	배치수	처리시간	합계
P1	3	3-0-0-10-3	48 (30,30)
P2	4	6-5-3-8	88 (20,100)
P3	2	5-3	16 (0,20)
P4	3	5-0-0-3	24 (0,30)
P5	2	6-0-8	28 (10,30)
P6	6	5-3-7-5	120 (84,60)
P7	2	6-0-7-10-3	52 (38,30)
합계			376 (182,300)

주 : 괄호안의 두 값은 AGV1 과 AGV2의 소요시간을 나타낸다.

<표 4> 예제에서 단계 4의 수행 결과

수행순서	CL	총처리시간	Tabu List	IL
1	L1-C1: L2-C2: L3-C3	376		
2	L1-C2: L2-C1: L3-C3	370**	L1-C1	L1-C2: L2-C1: L3-C3
3	L1-C2: L2-C3: L3-C1	418	L2-C1	
4	L1-C3: L2-C2: L3-C1	360**	L1-C2	L1-C3: L2-C2: L3-C1
5	L1-C3: L2-C1: L3-C2	390	L2-C2	
6	L1-C1: L2-C3: L3-C2	378*	L1-C3	

으로 감소됨을 알 수 있다. 만일 본 알고리즘의 단계 4에서 애로부품 또는 애로기계의 범위를 보다 확대시킨다면 보다 나은 해를 찾을 가능성이 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 Tandem 형태 하에서의 AGV 시스템을 활용한 셀형 제조시스템을 결합한 연구로서 AGV의 총처리시간을 최소화하는 수학적 모형을 구축하였다. 이 모형은 기존의 연구에서 고려하지 않은 각 AGV의 운행능력 제약 및 셀형 제조시스템의 배치계획 수립시 고려해야 할 공간제약 역시 반영하였다. 또한, 구축된 모형을 실제적으로 해결하기 위해 탐색적 알고리즘도 개발하였다. 본 알고리즘에서는 Partial Set Covering 모형과 유사계수를 활용하여 임시로 셀을 구성하고 Tabu Search를 이용한 셀의 이동을 통해 셀의 위치를 결정하였다. 다음으로 애로부품과 애로기계를 찾아 특정 기계의 셀간 이동 또는 교환을 통해 보다 더 AGV의 처리시간을 감소시켜 최적 또는 근사최적의 셀형 제조시스템을 설계하였다. 물류기기와 셀형 제조시스템이 통합된 연구가 거의 없는 상황에서 본 연구는 셀형 제조시스템 현장을 직접 표현하는 것으로는 부족한 면이 있으나 첫 시도되는 연구로서 큰 의의를 가지며 실제적인 셀형 제조시스템 설계에서는 필수적으로 해결해야 할 문제이므로 앞으로 이 분야의 연구에 기초가 될 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Askin, R. G. and Chiu, K. S., "A Graph Partitioning Procedure for Machine Assignment and Cell Formation in Group Technology," *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 8(1990), pp.1555-1572.
- [2] Ballakur, A. and Steudel, H. J., "A Within-Cell Utilization Based Heuristic for Designing Cellular Manufacturing Systems," *International Journal of Production Research*, Vol 25, No. 5(1987), pp.639-665.
- [3] Bozer, Y. A. and Srinivasan, M. M., "Tandem Configurations for AGV Systems Offer Simplicity and Flexibility," *Industrial Engineering*, Vol. 21, No.2(1989), pp.23-27.
- [4] Bozer, Y. A. and Srinivasan, M. M., "Tandem Configurations for Automated Guided Vehicle Systems and the Analysis of Single Vehicle Loops," *IIE Transactions*, Vol. 23, No. 1(1991), pp.72-82.
- [5] Francis, R. L., McGinnis, L. F. and White, J. A., *Facility Layout and Location - An Analytical Approach* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall), 1992.
- [6] Glover, "Tabu Search: A Tutorial," *Interfaces*, Vol. 20(1990), pp.74-94.
- [7] King, J. R., "Machine - Component

- Grouping in Production Flow Analysis: An Approach Using Rank Order Clustering Algorithm," *International Journal of Production Research*, Vol. 18(1980), pp.213-232.
- [8] Kumar, K. R., Kusiak, A., and Vannelli, A., "Grouping of Parts and Components In Flexible Manufacturing Systems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 24(1986), pp.387-397.
- [9] Kusiak, A., 1987, "The Generalized Group Technology Concept," *International Journal of Production Research* Vol. 25(1987), pp.561-569.
- [10] Lin, J. T., Chang, C. C. K and Liu, W. C., "A Load-Routing Problem in a Tandem-Configuration Automated Guided Vehicle System," *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No. 2(1993), pp.411-427.
- [11] Logendran, R., "A Workload Based Model for Minimizing Total Intercell and Intracell Moves in Cellular Manufacturing," *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 5(1990), pp.913-925.
- [12] Logendran, R., , "Impact of Sequence of Operations and Layout of Cells in Cellular Manufacturing," *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 2(1991), pp.375-390.
- [13] Logendran, R. and Ko, C. S., 1996, "Manufacturing Cell Formation in the Presence of Flexible Cell Locations and Material Transporters," *Proceeding of the 20th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, 1, pp.337-340.
- [14] Logendran, R. and Ramakrishna, P., "Manufacturing Cell Formation in the Presence of Lot Splitting and Multiple Units of the Same Machine," *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 3(1995), pp.675-693.
- [15] McAuley, J., "Machine Grouping for Efficient Production," *The Production Engineer*, Vol. 51, No. 2(1972), pp.53-57.
- [16] Rajagopalan, R. and Batra, J. L., "Design of Cellular Production Systems: A Graph Theoretic Approach," *International Journal of Production Research*, Vol. 13(1975), pp.567-579.
- [17] Seifoddinl, H. and Wolfe, P. M., "Application of the Similarity Coefficient Method in Group Technology," *IIE Transactions*, Vol. 18, No. 3(1986), pp.271-277.