

▣ 연구논문

직렬구조 제조시스템에서 전달점의 위치와 루프의 이동방향*
Location of Transit Point and Guide Direction of Loops in the Tandem Configuration Manufacturing System

장 석화**
 Chang Suk-Hwa

Abstract

This paper concerns the location of the transit point between adjacent loops and guide direction of loops in the tandem configuration manufacturing system. The tandem configuration has been used to solve control problems like the vehicle dispatching and traffic control. The transit point between loops needs to deliver the parts from one loop to another. The location of transit point between adjacent loops and direction of loops must be determined to minimize the total travel time of parts in the manufacturing system. The model formulation is developed, a numerical example is shown.

1. 서 언

제조시스템에서 총 운영비용의 15-70%는 자재흐름인 물류 처리와 관련된 비용으로 평가되고 있고, 그리고 효율적인 설비설계와 계획은 적어도 10-30%의 비용을 절감할 수 있는 것으로 인식되고 있다[19]. 이와 같이 제조시스템에서 물류시스템과 관련된 문제는 비용절감을 위한 공장운영의 중요한 부분이다.

유연 제조시스템에서 작업물의 운반수단으로 무인반송시스템(Automated Guided Vehicle system(AGVs))이 많이 이용되고 있다. 이는 무인반송시스템이 필요한 위치에 필요한 작업물을 이동시키는데 있어서 유연성이 뛰어나기 때문이다. 제조시스템에서 공정순서가 다른 여러 종류의 작업을 동시에 가공하는데 있어서 작업물의 공정에 따라 거치게 되는 작업장의 순서가 다르기 때문에 유연성이 우수한 운반수단이 필요하기 때문이다.

작업물의 운반방법으로 무인반송시스템을 이용할 경우에 여러 작업장들을 연결하는 방법으로 크게 단일루프(single-loop) 구조, 네트워크(network) 구조, 그리고 직렬(tandem) 구조 등이 있다. 단일루프 구조는 모든 작업장이 하나의 루프에 의해 연결될 수 있도록 하는 방법이다. 네트워크 구조는 모든 작업장들에 대하여 작업장의 pickup 점에서 다른 작업장의 delivery 점으로 한번의 운반에 의해 운반이 가능하도록 네트워크 형태로 모든 작업장을 연결하는 방법이다. 그리고 직렬(tandem) 구조는 운반차의 수를 고려하여 여러 개의 중첩되지 않는 단일루프(single-loop)로 작업장을 나누어 만든다.

제조시스템에서 작업장사이의 자재이동을 위한 물류시스템 구축방법으로 그림 1에서와 같이 여러 개의 단일루프로 된 직렬(tandem) 구조로 구성하는 경우에 어떠한 작업의 일련의 가

* 본 연구는 1999년도 인천대학교 교내 연구비 지원에 의하여 수행되었음

** 인천대학교 산업공학과 교수

공 공정이 동일한 루프내의 작업장만이 아닌 여러 루프에 있는 작업장을 차례로 이용할 수 있다. 이와 같은 경우에 운반차는 한번에 도달할 수 없으므로 작업물을 운반하기 위하여 루프사이에 전달점(transit point)이 필요하다.

직렬구조 제조시스템에서 작업물과 기계의 기능을 고려하여 루프사이에 작업물의 이동횟수를 줄일 수 있도록 루프에 설비를 배치하고, 작업물을 그룹화 하여 루프에 할당할 수 있을 것이다. 목적함수로 루프사이에 작업물의 이동을 줄일 수 있도록 하는 기준을 적용하는 경우일지라도 루프사이에 작업물의 이동은 발생한다. 그러나 다른 기준을 적용하는 경우에는 루프사이에 더욱 많은 작업물의 이동이 발생할 수 있다. 이는 어떠한 작업물의 모든 공정에 대하여 처리할 수 있는 기계가 동일 루프 내에 모두 존재할 수 없으므로 일부의 공정은 다른 루프에 있는 기계를 사용할 필요가 있기 때문이다.

직렬 구조에서 작업물이 가공되기 위하여 여러 루프에 있는 작업장을 차례로 이동하는 경우에 작업물의 운반거리, 운반시간, 운반비용 등을 줄일 수 있는 기준을 적용하여 물류시스템을 설계하는 문제를 생각할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 작업물의 운반시간을 줄일 수 있도록 루프사이의 전달점의 위치를 결정하는 것을 루프에서의 운반차의 이동방향을 결정하는 내용과 함께 고려한다.

인접하고 있는 두 루프사이의 인접 부분에는 전달점의 후보 위치로서 여러 곳이 있을 수 있다. 인접하고 있는 부분에 몇 개의 가능한 전달점의 후보지가 주어졌을 경우에, 이 전달점들의 후보위치들 중에서 작업물의 총 운반시간을 최소화 할 수 있는 하나의 위치를 전달점으로 정할 필요가 있다. 또한 루프들에서 작업물의 이동방향에 따라 전체적인 운반거리가 달라진다. 각 루프에서 운반차의 이동방향은 단일방향이므로 시계 및 반시계 방향 중에서 운반시간을 줄일 수 있는 하나의 방향이 결정될 필요가 있다. 이와 같이 루프에서 운반차의 적절한 이동방향과 루프사이에 있는 전달점의 위치를 함께 고려하여 결정되어야 한다.

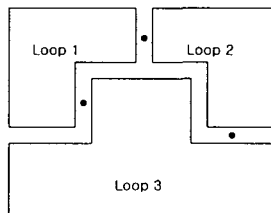


그림 1 직렬(tandem) 구조의 제조시스템

2. 연구 배경

제조시스템에서 작업장사이에 작업물 운반방법으로 무인반송시스템(AGVs)를 이용하는 경우에 네트워크(network) 구조, 단일루프 구조, 직렬구조 등이 있다. 네트워크 구조로 구축하는 경우에 주로 연구된 내용은 운반차의 이동경로 결정, 필요한 최소 운반차의 수, 운반차의 dispatching 규칙, 교차로에서의 통제, pickup/drop off point의 위치 결정 등이 있다 ([4], [5], [7], [8], [9], [12], [13], [15], [20]). Egbelu [6]은 운반차로 AGV를 이용하는 제조시스템에서 운반차가 단위부하로 운송하는 상황에서 운반차의 규모와 작업장의 설비규모를 경제적으로 결정하는 문제를 다루었다.

제조시스템의 모든 작업장을 하나의 루프로 연결하여 운반차가 단일루프에서 움직이도록 제조시스템을 구축한 문제에 대하여도 연구하였다([14], [16], [18]).

제조시스템이 적은 규모일 경우는 운반차의 통제문제가 중요한 문제가 아닐 수 있지만, 규모가 커지면 운반차의 통제문제가 중요할 수 있다. 작업장의 수가 증가하고, 운반차의 수가 많은 경우에도 모든 작업장을 네트워크 구조로 연결하는 방법을 전통적으로 사용하여 왔다. 그러나 이 방법은 많은 운반차가 동일한 작업장에서 동시에 운영되기 때문에 운반차의 dispatching 규칙, 교차로에서의 충돌 등 통제문제에 어려움이 발생하고 있다. 이러한 통제문제를 해결하기 위하여 여러 개의 중첩되지 않는 단일루프(single-loop)로 나누고, 각 루프에 하나의 운반차를 할당하여 구축한 직렬 구조방법을 제시하고 있다. 이 방법에서 다른 루프로의 물류 이동은 루프사이에 전달점을 두어, 이 점을 통하여 작업물을 이동시키고 있다. 이 경우는 여러 개의 단일루프로 나누는데 있어서 몇 개의 루프로 어떻게 나누며, 각 단일루프에 어떠한 공정이 처리되도록 묶을 것인가와 시스템의 효율을 평가하는 내용 등이 연구되어 왔다([1], [2], [3], [10], [11]).

네트워크 형태의 방법과 직렬 형태의 방법 사이에는 차이가 존재한다. 네트워크 방법은 운반차의 이용을 균일화하거나 운반차의 고장 시에 대처능력이 편리하고 작업물의 이동거리가 짧은 장점이 있으나, 많은 운반차가 동시에 사용될 경우에는 운반차의 dispatching 규칙, 교차로에서의 통제문제 등이 발생할 수 있다. 반면, 직렬구조 방법은 운반차의 운영통제를 편리하게 할 수 있지만, 운반물의 평균 운반시간이 증가하고, 어떠한 작업물을 어느 루프에서 처리할 것인가에 따라 루프사이의 작업량의 불균형, 작업물의 이동거리의 길어짐, 운반차 이용률의 불균형과 운반차수의 증가 등의 문제를 발생시킬 수 있다.

본 연구에서는 직렬 구조의 제조시스템에서 시스템의 성과와 밀접한 관련이 있는 작업물의 운반시간을 줄이기 위한 방안으로 인접하고 있는 루프사이의 적절한 위치의 전달점과 루프에서의 운반차의 이동방향을 동시에 결정하는 것이다. 이들에 대한 연구는 아직까지 기존의 문헌에서 발견되지 않고 있다.

3. 모형 형성

본 연구는 직렬 구조 제조시스템에서 루프사이에 있는 전달점을 이용하여 작업물을 운송하는데 있어 작업물의 운반시간을 최소화하도록 각 루프에서의 운반차의 이동방향과 전달점의 위치 및 작업물의 이동경로를 결정하는 것이다. 전달점에서는 기계의 가공행위는 발생하지 않고, 단지 작업물을 다른 루프에 있는 작업장으로 전달하기 위한 일시적인 중간 저장역할을 한다.

어떠한 임의의 루프를 생각한다. 이 루프에 있는 작업장에서 어떠한 공정을 마친 후에 다음 공정을 다른 루프에 있는 작업장에서 해야하는 경우에 루프사이에 있는 전달점을 경유하여 운반되게 되는데, 루프사이에 가능한 전달점 후보 위치로 여러 곳이 있다. 이 경우에 두 루프사이에 여러 곳의 위치를 동시에 전달점으로 사용하는 것도 가능하지만, 운영상의 관리 면에서 한 위치의 전달점만을 선택하여 사용하는 것이 효율적인 경우가 있을 것이다. 이 경우에 전달점의 위치는 작업물의 전체적인 운반시간에 영향을 줄 수 있으므로, 운반시간을 줄일 수 있는 위치를 전달점으로 선택해야 할 것이다. 그리고 작업물이 다른 루프로 이동하는 경우는 작업물이 경유할 수 있는 루프가 여러 개 존재할 수 있으므로 이론적으로 모든 전달점을 이용 가능한 것으로 고려하여 적절한 위치의 전달점을 선택하여야 한다.

작업물이 다른 루프의 작업장으로 이동될 때, 비록 인접하고 있는 두 루프사이에 있는 작업장으로 이동하는 것일지라도 두 루프사이에 있는 전달점을 이용하여 곧 바로 이동시키기보다는 중간에 다른 루프를 경유하여 이동시키는 것이 운반시간 면에서 유리할 수 있는 경우가 있다. 이는 pickup 및 delivery 시간이 증가할지라도 이동거리가 짧음으로 인하여 운반시간이

적게 발생할 수 있기 때문이다. 그리고 인접하지 않은 루프사이에 작업물이 이동될 경우는 중간에 다른 루프를 경유되게 된다. 이때 중간에 경유할 수 있는 루프가 여러 개가 있을 경우에 작업물의 이동경로가 여러 개가 가능하다. 가능한 여러 개의 이동경로 중에서 이용되는 루프에 따라서 운반시간이 달라지므로 운반시간을 최소화 할 수 있는 경로가 선택되어야 한다.

작업물이 출발지에서 목적지에 도착하기까지 전달점을 경유하는 경우에 가능한 여러 이동경로가 존재할 수 있다. 이러한 이동경로들 중에서 작업물의 전체적인 운반시간을 최소화할 수 있도록 전달점의 위치와 루프의 이동방향의 결정을 작업물의 이동경로와 함께 결정한다. 모형을 나타내기 위하여, 다음의 가정과 부호를 설명한다.

(가) 가정

- ① 제조시스템이 중첩되지 않은 여러 개의 단일루프로 나뉘어져 있다.
- ② 운반차의 루프에서의 이동방향은 단일방향이다.
- ③ 인접하고 있는 두 개의 루프사이에 여러 곳의 전달점의 후보들 중에서 하나의 전달점이 선택된다.
- ④ 작업물의 가공순서와 공정시간은 종류별로 다르지만 알려져 있고, 또한 단위기간동안의 생산량은 알려져 있다.
- ⑤ 작업물이 작업장사이를 운반될 때 운반시간을 최소화하는 이동경로를 따라서 운반된다.

(나) 부호

- n, s, t = 루프를 나타내는 첨자들
- Ω_n = 루프 n 에 있는 전달점 집합
- θ = pickup 시간 및 delivery 시간을 나타낸다.
- i, j = 선을 나타내기 위하여 인접하고 있는 점(마디)을 나타내는 첨자. 모든 루프에 있는 pickup 점, delivery 점, 전달점 등에 차례로 일련번호를 부여한 후에 선을 나타내기 위하여 이 번호를 사용한다.
- V = 운반차의 평균 이동속도
- f_{lm} = pickup 마디 l 에서 delivery 마디 m 으로 흐름량
- d_{ij} = 선 $(i-j)$ 의 길이 (마디 i 에서 인접마디 j 까지 거리)
- Y_{lm} = pickup 마디 l 에서 delivery 마디 m 까지 경로길이
- $X_{ijm} = 1$, 선 $(i-j)$ 이 pickup 마디 l 에서 delivery 마디 m 까지 경로에 포함되면,
0, 그렇지 않으면
- $Z_{ij} = 1$, 선 $(i-j)$ 의 이동방향이 마디 i 에서 마디 j 일 경우이면,
0, 그렇지 않으면
- A = 작업물 이동에서 pickup 마디 l 과 delivery 마디 m 이 동일한 루프의 마디를 나타내는 경우의 집합으로, $(l, m) \in A$ 으로 표시한다.
- B = 작업물 이동에서 pickup 마디 l 과 delivery 마디 m 이 다른 루프의 마디를 나타내는 경우의 집합으로, $(l, m) \in B$ 으로 표시한다.
- O = 전달점이 위치하고 있는 두 루프의 위치 i 와 j 사이를 연결하는 선 $(i-j)$ 과 선 $(j-i)$ 을 나타내는 두 위치 (i, j) 의 집합
- Ω_{st} = 인접하고 있는 두 루프 s 와 t 사이에서 s 에 있는 i 에서 t 에 있는 j 로 가는 전달점 후보의 집합

(다) 수리적모형

수리적모형은 목적함수와 제약식으로 구성된다. 목적함수는 단위기간동안에 주어진 모든 작업의 작업량을 생산하기 위하여 모든 작업물의 공정이 완료되기까지 작업물의 작업장사이의 이동으로 발생하는 총 운반시간을 최소화하는 것이다. 운반시간은 실질적으로 운반차가 작업물을 운반시키는 중에 발생하는 시간과 작업물을 pickup 점에서 pickup하는 시간과 delivery 점에서 delivery하는 시간으로 이루어진다.

Gaskins와 Tanchoco[7]는 네트워크 구조일 경우에 작업물의 운반거리가 최소화되도록 네트워크의 선에서 운반차의 이동방향을 구하는 내용을 연구하였다. 이들의 연구에서는 전달점이 없고, 작업물의 pickup과 delivery횟수가 변함이 없기 때문에 운반거리를 최소화하는 기준은 운반시간을 최소화하는 기준과 동일하다. 그러나 본 논문에서는 경유하게 되는 전달점의 수가 경로에 따라서 변화할 수 있기 때문에 이를 반영하여 수리적 모형으로 나타낸다. 작업물의 운반 중에 발생하는 시간은 운반차가 작업물을 실은 상태에서 운반으로 발생하는 시간으로 출발지 pickup 점, l 에서 목적지 delivery 점, m 까지 운반될 때 운반거리를 운반 속도로 나눈 것으로 나타내진다. 모든 작업물의 이동 중에 발생하는 시간은 다음의 식 (1)과 같이 구해진다.

$$\sum_{l,m} f_{lm} Y_{lm} / V \tag{1}$$

그리고 작업물의 pickup 및 delivery 시간은 작업물의 운반을 위하여 작업물을 운반차에 싣거나 운반차에서 내릴 때 걸리는 시간으로, pickup점에서의 pickup 시간 θ , delivery점에서 delivery 시간 θ , 그리고 작업물이 다른 루프로 운반되는 경우에 전달점에서 발생하는 delivery 시간 θ 와 pickup 시간 θ 로 이루어진다.

직렬구조 제조시스템에서 모든 루프에 있는 작업장과 전달점의 후보에 대하여 차례로 일련 번호를 부여한다. 동일한 전달점 위치라 할지라도 각 루프에 대하여 각각 다른 번호를 부여한다. 하나의 전달점에 대하여 인접하고 있는 양 루프에 하나씩 두 개의 번호가 주어진다. 전달점에 의해 연결되는 양 루프사이의 운반거리는 0이지만, 운반시간은 pickup 시간과 delivery 시간에 해당하는 시간만큼 발생한다.

Pickup점 l 에서 delivery점 m 까지 작업물이 운반되는데 있어서 이 두 점이 동일한 루프내의 점들일 경우와 다른 루프에 있는 점들일 경우에 운반시간이 다르게 표현되기 때문에, 관련된 목적식과 제약식이 기존에 연구된 네트워크 모형에 비하여 새로이 첨가되고 부분적으로 다르게 표현된다.

Pickup점 l 에서 delivery점 m 이 동일 루프 내에 있는 경우에 운반시간은 식 (2)와 같이 나타내진다.

$$\sum_{l,m \in A} f_{lm} [Y_{lm} / V + 2\theta] \tag{2}$$

첫 번째 항은 pickup점 l 에서 delivery점 m 까지 작업물이 운반될 때의 운반거리를 운반 속도로 나눈 것으로 운반시간을 나타내고, 두 번째 항은 pickup점 l 에서 pickup 시간과 delivery점 m 에서 delivery 시간의 합을 나타낸다.

Pickup점 l 에서 delivery점 m 이 다른 루프에 있는 경우에 운반시간은 식 (3)과 같이 나타내진다.

$$\sum_{l,m \in B} f_{lm} [Y_{lm} / V + 2\theta + 2\theta \sum_{(i,j) \in O} X_{ijm}] \tag{3}$$

첫 번째 항과 두 번째 항의 내용은 식(2)의 설명과 동일하고, 세 번째 항은 작업물이 다른 루프에 있는 작업장으로 이동되기 위하여 전달점에서 발생하는 시간으로 양 루프에서 발생하는 pickup과 delivery 시간의 합을 나타낸다.

전달점은 인접하고 있는 양 루프사이에서 양방향으로 이동이 가능하므로 다음과 같이 나타내진다. 이는 동일한 전달점에 대하여, 양 루프에서 이 전달점을 나타내는 마디, i 와 j 사이에서 작업물이 i 에서 j 로, j 에서 i 로 양방향으로 이동되는 것이 허용되게 하기 위하여 표현된 식이다.

$$Z_{ij} + Z_{ji} \leq 2, \quad (i, j) \in O \quad (4)$$

인접하고 있는 두 루프사이에 가능한 여러 곳의 전달점의 후보들 중에서 하나의 전달점만 선택되는 것으로 가정하였기 때문에 다음과 같은 식 (5)과 (6) 들이 필요하다. 두 개의 식이 사용된 것은 루프 s 에서 루프 t 로 가는 전달점의 위치와 루프 t 에서 루프 s 로 가는 전달점의 위치가 각 1개이고, 동일한 위치가 되게 하기 위해서이다. 식 (6)이 없을 경우는 루프 s 에서 루프 t 로 가는 전달점의 위치와 루프 t 에서 루프 s 로 가는 전달점의 위치가 각 1개이면서 다른 위치에 가능하게 된다.

$$\sum_{(i,j) \in O_s} Z_{ij} = 1, \quad \forall s, t \quad (5)$$

$$Z_{ij} = Z_{ji}, \quad (i, j) \in O \quad (6)$$

작업물의 총 운반시간을 최소화하는 목적함수 기준을 만족시키도록 하는 의사결정 변수인 각 루프에서의 선의 이동방향, $Z_{ij} (i, j) \in O$ 과 루프사이의 전달점의 위치, $Z_{ij} (i, j) \in O$ 와 pickup점에서 delivery점으로의 이동경로, $X_{ijlm} (\forall i, j, \forall l, m)$ 를 함께 구하는 수리적 모형은 다음의 P1과 같이 나타내진다.

$$P1 : \text{Minimize} \quad \sum_{l, m \in A} f_{lm} [Y_{lm} / V + 2\theta] + \sum_{l, m \in B} f_{lm} [Y_{lm} / V + 2\theta + 2\theta \sum_{(i,j) \in O} X_{ijlm}] \quad (7)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{i,j} X_{ijlm} d_{ij} = Y_{lm}, \quad \forall l, m \quad (8)$$

$$X_{ijlm} \leq Z_{ij}, \quad \forall l, m, \forall i, j \quad (9)$$

$$Z_{ij} + Z_{ji} \leq 1, \quad (i, j) \notin O \quad (10)$$

$$Z_{ij} + Z_{ji} \leq 2, \quad (i, j) \in O \quad (11)$$

$$\sum_i Z_{ij} \geq 1, \quad \forall j \quad (12)$$

$$\sum_j Z_{ji} \geq 1, \quad \forall i \quad (13)$$

$$\sum_{(i,j) \in O_s} Z_{ij} = 1, \quad \forall s, t \quad (14)$$

$$Z_{ij} = Z_{ji}, \quad (i, j) \in O \quad (15)$$

$$\sum_k X_{klm} = 1, \quad \forall l, m \quad (16)$$

$$\sum_k X_{kml} = 1, \quad \forall l, m \quad (17)$$

$$\sum_k X_{kllm} = 0, \quad \forall l, m \quad (18)$$

$$\sum_k X_{mklm} = 0, \quad \forall l, m \quad (19)$$

$$\sum_i X_{ijlm} = \sum_k X_{jklm}, \quad \forall l, m, \forall j \quad (20)$$

$$X_{ijlm} = 0, 1, \quad \forall l, m, \forall i, j \quad (21)$$

$$Z_{ij} = 0, 1, \quad \forall i, j \quad (22)$$

제약식 (8)은 작업물이 pickup 점, l 에서 delivery 점, m 까지 이동될 때 이동경로의 거리를 나타낸다. 제약식 (9)은 pickup 점, l 에서 delivery 점, m 까지 연결되는 이동경로에 포함되는 선은 이동방향이 주어져야함을 의미한다. 제약식 (10)은 루프 내에서 선의 이동방향이 한쪽만이 선택되어야 함을 의미하고, 제약식 (11)은 루프사이에 가상의 선의 이동방향이 양방향일 수 있음을 의미한다. 제약식 (12)은 선이 만나는 마디에서 들어오는 방향의 선이 최소 한 개 이상이 되어야 함을 의미하고, 제약식 (13)은 선이 만나는 마디에서 나가는 방향의 선이 최소 한 개 이상이 있어야 함을 의미한다. 제약식 (14)과 (15)는 인접하고 있는 두 루프사이에 있는 여러 곳의 가능한 접달점 중에서 한 곳의 전달점 만이 선택되어야 함을 의미한다. 제약식 (16)은 pickup 점, l 에서 나가는 방향이 한 개 주어져야 하고, 제약식 (17)은 delivery 점, m 으로 들어오는 방향이 한 개 주어져야 함을 의미한다. 제약식 (18)은 pickup 점, l 에서 delivery 점, m 으로 이동과정에서 pickup 점, l 로 들어가는 방향의 선이 없어야 함을 나타내고, 제약식 (19)은 delivery 점, m 에서 나가는 방향의 선이 존재하지 않아야 함을 의미한다. 제약식 (20)은 pickup 점, l 에서 delivery 점, m 으로 연결되는 선에서 점 l , m 을 제외한 나머지 마디에 대하여 마디에 들어오는 방향의 수와 마디로부터 나가는 방향의 수가 같아야 함을 의미한다. 나머지 제약식들 (21)과 (22)는 변수의 값이 0, 1이 되어야 함을 나타낸다.

수리적모형, P1은 변수의 범위가 0, 1인 선형정수계획으로 표현되어 있다. 이들에 대한 해는 선형정수계획 프로그램을 이용하여 해를 구할 수 있다. 다음 부분에서 수치적 예제를 사용하여 내용을 설명한다.

4. 수치적 예제

그림 2에서와 같이 임의로 만든 제조시스템의 예제를 생각한다. 제조시스템에 4개의 루프가 있고, 루프 1과 2에는 각각 3개, 3에는 4개, 루프 4에는 2개의 작업장이 있다. 인접하고 있는 루프사이에 작업물의 전달위치로서 여러 곳의 가능한 후보 위치가 주어졌다. 작업장을 나타내는 번호는 그림에서와 같이 번호 1번에서 12번까지이고, 번호 13에서 34까지는 전달점을 나타낸다. 전달점을 나타내는 번호는 인접하고 있는 두 루프에서의 번호는 루프마다 다르게 나타나 있다. 운반차의 평균 운반속도는 40m/분이고, pickup 및 delivery 시간은 똑같이 0.25분이다.

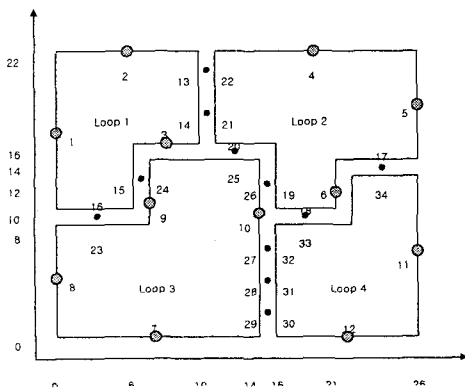


그림 2 제조시스템의 배치

문제를 수리적모형 P1과 같이 나타내면 선형정수계획 모형이 된다. 이 모형에 대한 해는 기존의 선형정수계획 프로그램으로 쉽게 풀 수 있다. 선형정수계획 프로그램인 Lindo 프로그램을 이용하여 해를 구하면, 루프의 이동방향은 그림3에서와 같이 나타내진다. 그리고 타 루프로 이동하는 경우에 이용하는 전달점의 위치는 표 4에 나타난 것과 같다.

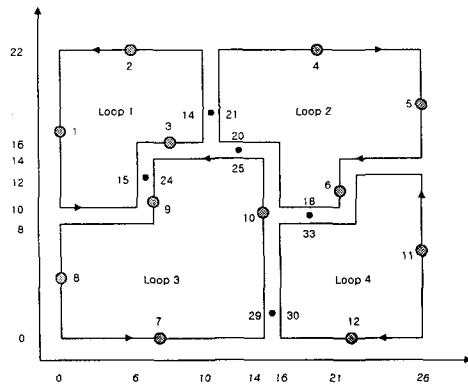


그림 3 루프의 이동방향 및 전달점의 위치
 표 4 타 루프로 운반될 때 이용하는 전달점

$(l \rightarrow m)$	이용 전달점
(1→6)	1 - 14 - 21 - 6
(1→9)	1 - 15 - 24 - 9
(3→7)	3 - 15 - 24 - 7
(3→4)	3 - 14 - 21 - 6
(3→8)	3 - 15 - 24 - 7
(5→2)	5 - 21 - 14 - 2
(6→10)	6 - 20 - 25 - 10
(6→11)	6 - 18 - 33 - 11
(7→4)	7 - 25 - 20 - 4
(9→6)	9 - 25 - 20 - 4
(11→8)	11 - 30 - 29 - 8
(12→3)	12 - 30 - 29 - 24 - 15 - 3

5. 결론

무인반송시스템(AGVs)을 이용하는 유연 제조시스템에서 운반차의 이동경로의 구조가 여러 개의 중첩되지 않는 독립된 단일루프로 된 직렬구조일 경우에 인접하고 있는 루프사이에 전달점의 위치와 루프의 이동방향을 결정하는 문제를 다루었다. 직렬 구조일 경우에 작업물의 연속된 두 공정들이 각각 다른 루프에 있는 작업장에서 이루어질 경우에 작업물을 한번에 운반할 수 없기 때문에 작업물의 운반을 위하여 루프사이의 적절한 위치에 전달점을 필요로 한다. 두 루프사이에 전달점의 위치로서 가능한 여러 곳 중에서 하나의 위치를 선택할 때 작업물의 총

운반시간을 최소화 할 수 있는 위치를 결정하는 것이 시스템의 성과를 높일 수 있다. 또한 루프의 이동방향도 이동거리에 영향을 미치므로 동시에 결정하였다.

제조시스템이 직렬 구조일 경우에 전달점의 위치와 루프의 이동방향을 결정하는 연구를 통하여 문제를 분석하고, 수리적모형으로 나타내었고, 그리고 수치적 예제를 이용하여 문제를 설명하였다. 연구결과는 제조시스템을 직렬 구조로 설계할 때 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Bischak, D.P. and Stevens, K.B. JR., 1995, "An evaluation of the tandem configuration automated guided vehicle system," *Production Planning & Control*, Vol.6 438-444
- [2] Bozer, Y.A., and Shrinivasan, M.M, 1989, "Tandem configurations for AGV systems offer simplicity and flexibility," *Industrial Engineering*, Vol.21, 23-27
- [3] Bozer, Y.A., and Shrinivasan, M.M, 1991, "Tandem configurations for automated guided vehicle systems and the analysis of single vehicle loops," *IIE transactions*, Vol.23, 72-82
- [4] Egbelu, P.J. and Tanchoco, J.M.A., 1984, "Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.22, 259-274
- [5] Egbelu, P.J. and Tanchoco, J.M.A., 1986, "Potential for bidirectional guide path of automated guided vehicle based systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.24, 1075-1097
- [6] Egbelu, P.J., 1993, "Concurrent specification of unit load sizes and automated guided vehicle size in manufacturing system," *Int. J. of Prod. Economics*, Vol.29, 695-712
- [7] Gaskins, R. J., and Tanchoco, J.M.A., 1987, "Flow path design for automated guided vehicle systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 25, 667-676
- [8] Gaskins, R. J., and Tanchoco, J.M.A., 1990, "Optimal flow path design of unidirectional AGV systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.28, 1023-1030
- [9] Goetz, W.G., and Egbelu, P.J., 1990, "Guide path design and location of load pick-up/drop-off points for an automated guided vehicle system," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.28, 927-941
- [10] Lin, J. T., Chang, C.C.K. and Liu, W-C., 1994, "A load-routing problem in a tandem-configuration automated guided-vehicle system," *Int. J. Prod Res*, Vol.32, 411-427
- [11] Lin, J. T. and Dgen, P.-K., 1994, "An algorithm for routeing control of a tandem automated guided vehicle system," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.32, 2735-2750
- [12] Mahadevan, B. and Narendran, T.T., 1990, "Design of an automated guided vehicle-based material handling system for a flexible manufacturing system," *Int. J. Prod. Res.*, 1611-1622
- [13] Maxwell, W.L. and Muckstadt, J.A., 1982, "Design of automatic guided vehicle systems," *IIE Transactions*, Vol.14, 114-124
- [14] Sinriech, D. and Tanchoco, J.M.A., 1991, "The centroid projection method for locating pick-up and delivery stations in single-loop AGV systems," *J. of Manufacturing Systems*, Vol. 11, 297-307
- [15] Sinriech, D. and Tanchoco, J.M.A., 1992, "An economic model for determining AGV fleet size," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 30, 1255-1268
- [16] Sinriech, D. and Tanchoco, J.M.A., 1992, "Impact of empty vehicle flow on performance

of single-loop AGV systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 30, 2237-2252

[17] Tanchoco, J.M.A., 1994, *Material flow systems in manufacturing*, Chapman & Hall, London

[18] Tanchoco, J.M.A. and Sinriech, D., 1992, "OSL-Optimal single-loop guide paths for AGVS," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 30, 665-681

[19] Tomkins, J.A, and White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A. and Trevino, J., 1996, *Facilities Planning*, Wiley, New York

[20] Tanchoco, J.M.A., Egbelu, P. J., and Taghaboni, F., 1987, "Determination of the total number of vehicles in an AGV-based material transport system," *Material Flow*, 4, 33-51