

## 단방향 이동 AGVS의 최적 경로선정에 관한 연구

### A Study on the Optimal Flow Path Design of Unidirectional AGV Systems

손권익\* · 김진환\*

Kwon-Ik Sohn\* Jin-Hwan Kim\*

#### Abstract

This paper describes the flow path design of unidirectional automated guided vehicle systems. The objective is to find the flow path which will minimize total travel time of unloaded as well as loaded vehicles. The allocation of unloaded vehicles is determined by applying the transportation simplex method. The problem is solved using a branch-and-bound technique. A simple illustrative example is discussed to demonstrate the procedure.

#### 1. 서 론

오늘날 많은 공장에서는 물자를 운송하는데 사람이 직접 관여하지 않고 다른 운송설비보다 부대설비가 적으며 적은 공간을 차지하는 자동유도운반차량 시스템(AGVS:Automated Guided Vehicle System)을 사용하거나 도입을 고려하고 있다. AGV는 전자기 또는 광막기능에 의한 자동유도장치를 갖추고 있으며 축전지를 이용하여 설치된 유한궤도 상에서 운행하도록 되어 있다. 필요한 물품을 자동으로 하역하고 선적할 수 있도록 소형 롤러 컨베이어, lift/lower테이블, fork 등의 장비를 갖추고 있으며, 차량의 운행과 작업은 원격조정 또는 내부에 설치된 컴퓨터 프로그램에 의해 수행되는

무인운반차이다. 앞으로 AGVS는 기업이 자동화를 요구함에 따라서 사용용도가 더욱 더 증가할 전망이다.

자동유도운반차량 시스템에 대한 연구는 크게 경로선정 [3,4,6,8], 차량 댓수 결정 [1,7], 선적/하역장의 위치 결정[5], 각 작업장에서의 차량의 급송규칙[1,2]에 대한 연구로 구분할 수 있다.

경로선정에는 크게 단방향이동(unidirectional flow)과 양방향이동(bidirectional flow)으로 구분할 수 있다. 단방향이동은 차량이 통로의 한쪽 방향으로만 이동하는 것으로, 도달하지 못하는 점이 없어야 한다. 설계나 운행이 양방향 이동보다 간편하고 가격이 싸다는 장점이 있으나, 이동시간이 길다는 단점이 있다. 양방향 이동은 차량의 이동방향이 통로의 양쪽 방향 모두가 가능한 것으로, 차량의 충돌을 고려해

\* 강원대학교 공과대학 산업공학과

주어야 한다. 양방향이동은 단방향이동보다 통로와 운행시간이 단축되나 운행이 복잡하고 가격이 비싸다는 단점을 들 수 있다.

본 연구에서는 실제로 많이 이용되고 있는 단방향이동에 국한하여 연구하고자 하며, 그에 관한 기존 연구는 다음과 같다.

Maxwell and Muckstadt[7]는 From-to chart를 이용한 해석적 방법에 의해 주어진 배치의 최소 차량의 댓수를 결정하는 모델 및 AGVS의 동적인 형태를 평가하는 분석도구를 제시하였다. Gaskins and Tanchoco[4]는 주어진 통로상에 선적한 차량의 이동시간을 최소화하는 모델을 제시하고, 0-1 정수계획법을 사용하여 해결하였다. Kaspi and Tanchoco[6]는 좀 더 빨리 해를 구할 수 있는 분지 및 한계 기법(branch and bound technique)을 제시하였으며, 도달하지 못하는 점을 없애기 위하여 물건의 이동이 없는 곳에 물건의 이동이 있다고 가정된 아주 작은값( $\epsilon$ )을 첨부하였다. Venkataramanan and Wilson[8]은 그래프 이론을 이용한 분지 및 한계 기법으로서 좀 더 효과적으로 해를 구하는 방법을 제시하였다. 또, 빈 차량의 이동을 고려한 모형도 제시하였다.

논문[7]에서 보면 차량의 경제적 댓수는 차량이 운행에 소비한 총 시간에 의하여 결정된다. 차량이 운행에 소비한 시간은 선적한 차량의 이동시간, 선적/하역장에서 선적/하역시 소비 시간, 빈 차량의 이동시간으로 나눌 수 있다. 선적/하역장에서 선적/하역시 소비한 시간은 통로의 방향에 관계없이 일정하다. 따라서 단방향이동 흐름방향 결정문제는 선적한 차량과 빈 차량의 이동시간을 최소화시키는 것임을 알 수 있다. 그러나, 기존의 연구[4, 6]들은 선적한 차량의 운행만을 고려함으로써, 적절한 결과를 가져다 주지 못하고 있다. 또한 논문[8]에서는 빈 차량의 이동거리도 최소화시키는 문제를 다루고 있으나 운행횟수를 무시하고 빈 차량이 반드시 출발한 선적장으로 되돌아오는 것으로 하여 문제를 해결하였다. 그러나 운행횟수는 무시될 수 없고, 빈 차량을 좀 더 경제

적으로 운행하려면 가까운 선적장으로 이동시켜야 할 것이다. 각 하역장에서 선적장으로의 이동횟수가 다르면 적절한 분배가 필요하다. 이 방법이 소요 차량의 댓수를 감소시켜 줄 것이다. 운행형태가 일정한 정적인(static)인 경우에는 논문 [7]에서와 같이 수송문제로 차량 이동횟수를 결정할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 차량의 경제적 댓수와 직결되는 차량의 총 이동거리를 최소화하는 해를 찾는 모형과 해법을 찾으려 한다.

2절에서는 수학적인 모형을 세우고 예제를 통하여 그 해법에 관한 설명을 한다. 3절에서는 예제의 분석 및 평가를 하고 4절에서 결론을 내리고자 한다.

## 2. 모형과 해법

### 1) 모형

차량통로 그물망 상에서 방향 표시는 차량이 갈 수 있는 방향을 표시하고, 거리는 마디와 마디 사이를 이동할 수 있는 시간으로 간주한다. 그림 1에서 예로 주어진 차량통로와 선적/하역장 배치도 (가)는 마디(node)와 선(arc)으로 나타내어 (나)와 같은 차량통로 그물망으로 만들 수 있다. 생산공장 안에서 통로는 선으로, 선적/하역장과 통로의 교차점을 마디로, 차량통로 그물망 상에서 각각 나타낸다. 예로 주어진 그림 1의  $P_1, P_2$ 는 선적장이고,  $D_1, D_2, D_3$ 는 하역장이다.  $P_2/D_1$ 은 선적장이기도 하고 하역장이기도 하다. 거리는 선 상에 주어져 있고 단위는 미터(m)이다.

모형의 성립을 위한 가정은 다음과 같다. 차량이 물건을 수송시 한 종류의 물건을 하나의 수송단위씩 수송한다. 동시에 한 통로 상에서 두대 이상의 차량 이동은 불가능하다. 빈 차량이 도착하면 항상 수송할 물건이 있는 것으로 한다. 이것은 일정하게 생산이 이루어지고 수송도 어느 정도 균등한 간격을 두고 이루어지는 경우에 부합된다. 선적장에서 하역장으로 차량의 이동횟수와 선적/하역장 간의 거리는 알고 있다.

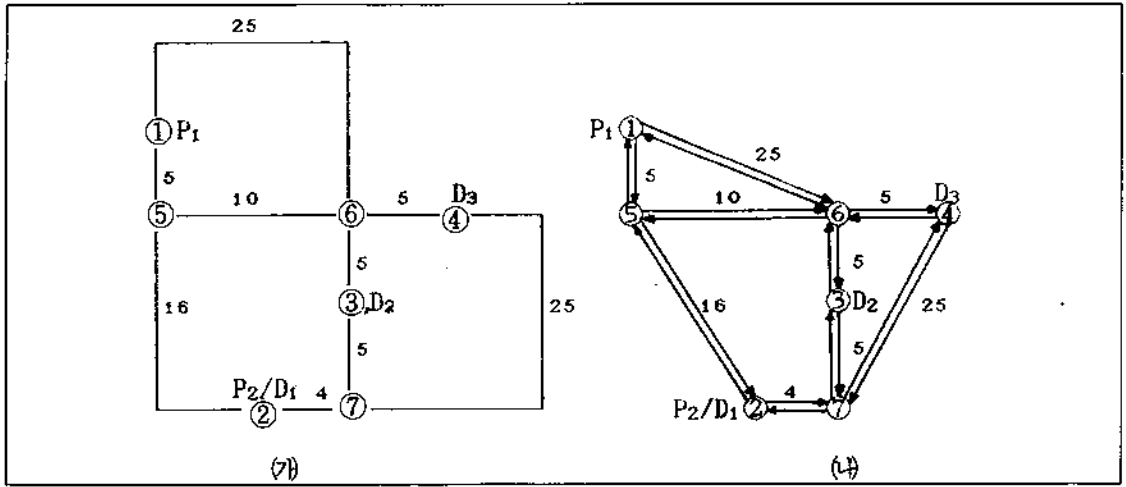


그림 1. (가) 차량통로와 선적/하역장 배치도  
(나) 마디와 선으로 나타낸 차량통로 그물망

**기호설명**

$Z_{ij}$  : 만약 마디 i에서 마디 j로 가는 선이 차량통로 그물망 상에 포함될 경우

0 : 포함되지 않을 경우

$X_{ijmn}$  : 만약 마디 i에서 마디 j로 가는 선이 선적/하역장 m에서 하역/선적장 n까지 차량 이동시 포함될 경우

0 : 포함되지 않을 경우

$d_{ij}$  : 마디 i에서 마디 j로 가는 선의 길이

$f_{mn}$  : 선적장 m에서 하역장 n으로 가는 선적한 차량의 이동 수

$h_{nm}$  : 하역장 n에서 선적장 m으로 가는 빈 차량의 이동 수

**목적함수**

목적함수는 선적한 차량의 총 이동거리와 빈 차량의 총 이동거리를 더하여 최소값을 구하는 것으로, 첫번째 항은 선적한 차량의 총 이동거리를, 두번째 항은 이동량과 이동방향을 동시에 결정하는 비선형 함수가 된다.

$$\text{Minimize } \sum_{m,n} f_{mn} [ \sum_{ij} X_{ijmn} d_{ij} ] + \sum_{n,m} h_{nm} [ \sum_{ij} X_{ijnm} d_{ij} ]$$

**제약조건**

a. 단방향이동조건

$$Z_{ij} + Z_{ji} = 1 \quad \forall i, j$$

b. 선적장 마디 m에서 하역장 마디 n으로 가는 경로의 방향은 선의 방향에 제약을 받는다.

$$X_{ijmn} \leq Z_{ij} \quad \forall m, n, \quad \forall i, j$$

c. 최소한 하나의 들어가는 선이 있어야 한다.

$$\sum_j Z_{ij} \geq 1 \quad \forall j$$

d. 최소한 하나의 나오는 선이 있어야 한다.

$$\sum_j Z_{ij} \geq 1 \quad \forall i$$

e. 경로의 시작점 m에서는 하나의 나가는 선이 있어야 한다.

$$\sum_j X_{mjn} = 1 \quad \forall m, n$$

f. 경로의 끝점 n에서는 하나의 들어가는 선이 있어야 한다.

$$\sum_j X_{jmn} = 1 \quad \forall m, n$$

g. 선적/하역장 m에서 하역/선적장 n으로 가는 경로상의 마디 j에서 들어오는 선과 나오는 선의 수는 같다.

$$\sum_i X_{ijm} = \sum_k X_{jkm} \quad \forall m, n, \quad \forall j$$

h. 선적/하역장 m에서 볼 때 차량의 나옴과 들어가는 수는 같다.

$$\sum_k (f_{km} + h_{km}) = \sum_o (f_{mo} + h_{mo}) \quad \forall m$$

이 문제의 해를 구하는데 있어서 문제점으로는 엄청난 변수의 수와 목적함수의 비선형성이다. 그러나, 이 문제점들은 다음의 분지 및 한계 기법을 사용함으로써 해결될 수 있다.

## 2) 분지 및 한계 기법

차량의 이동경로 선정문제는 지금까지 나와 있는 기법으로는 분지 및 한계기법이 가장 효율적이다. 이 방법을 적용한 기존의 논문[6,8]에서 해법들의 특징을 살펴보면, 해를 구하는 방법의 큰 줄기는 같다고 볼 수 있으나 효율성을 좌우할 수 있는 것은 다음과 같다.

### i) 분지방법

논문 [6]은 역추적 방법(backtracking)을 사용하고 논문 [8]은 단계추적 방법(jump-tracking)을 사용하고 있다.

### ii) 분지를 위한 초기의 선 선택 방법

논문 [6]은 단순히 선적/하역장 마디와 직접 연결된 선으로 부터 시작한다. 그러나, 논문 [8]에서는 각 선적장에서 하역장으로의 최단 경로를 찾아 차량의 이동방향이 상충되는 선을 우선으로 선택한다.

### iii) 분지를 위한 중간 단계에서의 선 선택 방법

논문 [6]에서는 하나의 마디에 직접 연결된 선을 다 해결하고 난 후, 선정하지 않은 다른 마디로 옮겨가서 그 마디에 연결된 선을 선택한다. 마디와 선의 선정은 임의로 한다. 논문 [8]에서는 가장 좋은 후보가 되는 선을 찾기 위해 모든 후보에 대하여 하한값(lower bound)을 계산해 가장 작은 값을 갖는 선을 선택하여 분지한다.

### iv) 완전가능해 검사 방법

논문 [6]에서는 계속 분지하여 모든 선의 방향이 결정되어야 하나의 완전가능해가 구해지는 것과는 달리 논문 [8]에서는 매 단계마다 최단거리로만 방향이 결정된 해가 완전가능해가 되는가를 검사한다. 만약 가능해가 되면 더 이상 그 단계 아래로는 분지할 필요가 없다. 이것은 최단거리로 이동하여 더 나은 해가 존재할 수 없기 때문이다.

본 연구에서는 두가지 방법의 장점들을 취합하여 본 문제 해결에 적절한 분지 및 한계 기법을 사용한다.

역추적 방법은 빨리 완전가능해를 구하는 장점이 있는 반면에 구한 완전 가능해의 값이 좋지 않을 수 있다. 반면에 단계추적 방법은 많은 가치를 뺐을 가능성이 있으나 완전가능해가 구해지면 그 가능해는 최적에 가까울 수 있는 장점이 있다. 여기서는 먼저 하나의 길을 계속 해서 가치를 뺐어 하나의 완전가능해를 구한 후 다시 길을 거슬러 올라가면서 다른 가치를 뺐어 나가는 역추적 방법을 사용한다. 초기 선 선택에 있어서는 빈 차량의 이동이 어떠한 선적장도 선택할 수 있어, 모든 방향을 일단 무시하고 최단거리를 찾아서 방향을 결정하는 것은 무의미하기 때문에 논문[8]에서의 방법은 본 연구에서 제시한 모형에 적절하지 않다. 또한 중간 단계에서의 선 선택에 있어서 모든 후보 선에 대하여 하한값을 구해 선택하는 것은 그 효과에 비하여 계산량이 많다고 본다. 따라서 본 연구에서는 논문 [6]의 방법을 적용한

다. 그리고 논문 [8]에서 사용한 각 단계 마다의 완전가능해 여부의 검사는 그 효과가 기대되므로 적용한다.

**기호설명**

UB : 상한값(Upper Bound)으로, 현재까지 구한 가장 좋은 목적함수 값을 나타내며, 처음에는 무한대( $\infty$ )의 값을 갖는다. UB보다 작은 값을 가진 완전가능해가 구해지면, 그 값을 UB로 수정한다.

LB<sub>K</sub> : 하한값(Lower Bound)으로, 가지 K까지 방향이 결정된 선과 나머지 결정되지 않은 선에 의하여 구해지는 목적함수의 최고 좋은 값으로, 만약 LB<sub>K</sub>가 UB보다 같거나 크면 그 가지는 자를 수가 있다.

{D} : 차량의 이동방향이 결정된 선들의 집합.

{U} : 차량의 이동방향이 결정되지 않은 선들의 집합

{A} : 모든 선들의 집합, 즉  $\{D\} \cap \{U\} = \phi$ ,  $\{D\} \cup \{U\} = \{A\}$ .

**탐색절차**

분지 및 한계 기법을 설명하기 위하여 그림 1의 (가)와 같은 예를 들어 보자. 그리고, 선적한 차량의 이동에 관한 정보는 표 1의 From-to flow chart에서 주어진 것과 같이 P<sub>1</sub>에서 D<sub>1</sub>으로 7대, P<sub>1</sub>에서 D<sub>3</sub>로 3대, P<sub>2</sub>에서 D<sub>2</sub>로 5대 그리고 P<sub>2</sub>에서 D<sub>3</sub>로 5대의 차량 이동이 있다고 가정한다.

**단계 1. 초기화(initialization)**

그림 1의 (가)의 차량통로 그물망에서 처음으로 집합{A}를 살펴보면, {A}={1→5, 5→1, 1→6, 6→1, 2→5, 5→2, 2→7, 7→2, 3→6, 6→3, 3→7, 7→3, 4→6, 6→4, 4→7, 7→4, 5→6, 6→5}가 된다. 방향이 결정된 것은 없으므로 {U}={A}, {D}=φ, UB=∞이다.

**단계 2. 분지(branching)**

From-to flow chart가 주는 정보에서 차량의 이동이 많은 선적/하역장 마디를 먼저 선택

하고, 선적/하역장과 바로 연결된 선 중 임의로 선택한다. 하나의 마디와 연결된 선의 방향이 다 결정되면 다음 차량 이동이 많은 마디로 이동한다. 선적/하역장을 나타내는 마디가 모두 해결되면, 그 외 마디에 대하여 계속한다. 논문[6]과 같이 임의로 선택할 수도 있으나 차량의 이동이 많은 마디가 LB<sub>K</sub>값을 빨리 증가시킬 수 있으므로 우선 선택될 수 있다. 예로 마디 i에서 바로 이웃하는 마디 j와 연결하는 선(아직 방향이 결정되지 않은 선)을 선정하면 가지는 i→j, j→i 둘로 나눌 수 있다.

i) Z<sub>i,j</sub>=1, Z<sub>j,i</sub>=0 또는 Z<sub>i,j</sub>=0, Z<sub>j,i</sub>=1,  $\{i \rightarrow j, j \rightarrow i\} \in \{D\}$ .

ii) {U}←{U} - {i→j, j→i}.

그림 1의 (나)에서 마디 1을 택하여 선 1→5, 선 5→1을 임의로 선정하면 그림 2에서처럼 K=1(Z<sub>15</sub>=1, Z<sub>51</sub>=0) 그리고 K=2(Z<sub>51</sub>=1, Z<sub>15</sub>=0)로 가지를 나눌 수 있다.

**단계 3. 한계(bounding)**

각 가지의 LB<sub>K</sub> 값을 계산한다. 예로 가지 K=1(Z<sub>15</sub>=1, Z<sub>51</sub>=0)에서 차량의 최소 총 이동거리를 구하여 보자.

마디와 마디 사이의 이동거리는 방향이 결정된 선과 결정되지 않은 선의 최단거리를 구한다. 방향이 결정되지 않은 선은 양쪽 방향으로 갈 수 있는 것으로 본다. 빈 차량의 이동 수는 수송문제 해법을 적용하여 표 2와 같이 구한다. 이동거리와 차량의 이동 수를 곱하여 모두 합하면 총 이동거리가 계산된다. 표 1에서 선적한 차량의 총 이동거리는 347m이고 표 2에서의 빈 차량의 총 이동거리는 327m이므로 LB<sub>1</sub>=674m가 된다. 같은 방법으로 K=2의 LB<sub>2</sub>=730m를 구할 수 있다.

**단계 4. 분지 중단(fathom)**

만약 가지 K가 아래와 같은 조건을 만족하지 못하거나, 그 가지에서 하한값을 구할 때 얻은 방향이 하나의 완전가능해가 되면 역시 분지를 중단한다. 이 가지에서 사용한 방향에 대한 정보는 적어 둔다.

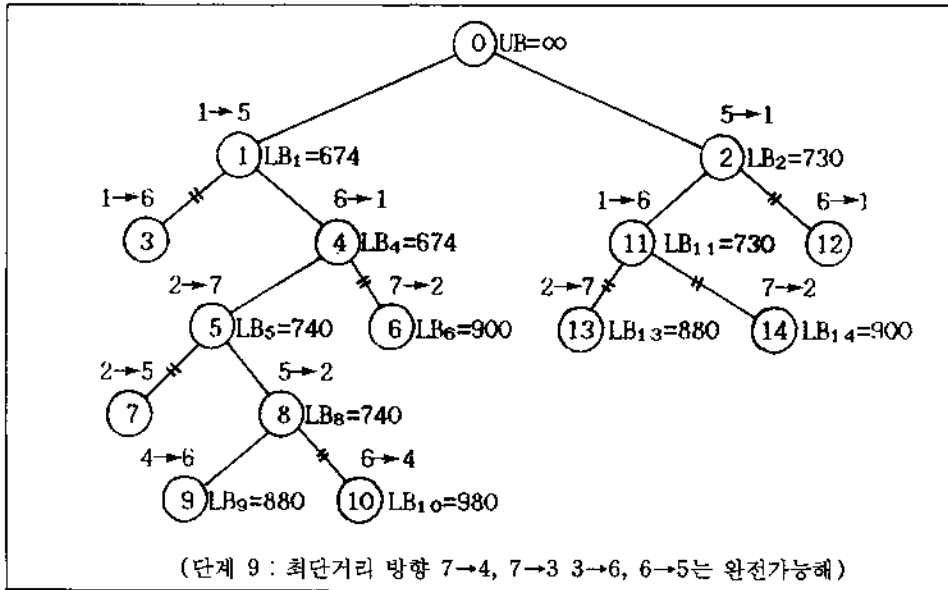


그림 2. 해를 찾는 나무가지

표 1. 이동거리와 선적한 차량의 From-to flow chart

From	To			합
	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	
P <sub>1</sub>	21 7		20 3	10
P <sub>2</sub>		9 5	19 5	10
합	7	5	8	

표 2. 수송문제 해법에 의해 결정된 빈 차량의 From-to flow chart

From	To		합
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	
D <sub>2</sub>	30 2	9 3	5
D <sub>3</sub>	30 8	19 0	8
합	10	3	

(A B, A : 이동거리, B : 차량의 이동 수)

- i) 하한값(LB<sub>k</sub>) ≥ 상한값(UB).
- ii) 제약조건 c, d를 만족할 수 없는 경우.
- iii) 고립되는 마디가 발생하는 가지인 경우, 즉 제약조건 e, f, g를 만족할 수 없는 경우.

단계 5. 가지 선택(branch selection)

두개의 새로운 가지 중 다음 분지 대상으로 가장 작은 LB<sub>k</sub>를 갖는 하나의 가지를 선택한

다. 다른 가지에 관한 정보( $LB_K$ ,  $\{U\}$ ,  $\{D\}$ )는 적어 둔다. 예에서  $K=1$ 이면  $LB_1=674m$ 이고,  $K=2$ 이면  $LB_2=730m$ 이다. 따라서  $K=1$ 을 선택한다.

단계 6. 상한값의 수정

(updating of upper bound)

하나의 완전가능해를 구해  $LB_K$ 를  $UB$ 와 비교하여 만약 작으면  $UB$ 를  $LB_K$ 로 수정한다. 예로 그림 2에서  $LB_9=880m$ 이다.  $LB_9$ 는 비록 모든 선의 방향이 결정된 상황은 아니지만 단계 4에서와 같이 하한값을 구할 때 얻은 방향이 완전가능해이다. 따라서  $UB=\infty$ 를  $UB=880m$ 로 수정할 수 있다.

단계 7. 역추적(backtracking)

하나의 완전가능해가 구해진 다음은 역추적이 이루어지게 된다. 역추적은 단계 4의 조건들에 해당되지 않는 가지 중 아직 분지하지 않은 가지를 선정하여 단계 2부터 단계 6을 반복한다.

그림 2에서 보면, 가지  $K=9$ 에서 하나의 가능한 해를 구했다. 단계 4에서와 같이 현재의  $UB$ 보다 큰 하한값  $LB_K$ 를 갖는 가지를 잘라가면서 거슬러 가면,  $K=2$ ,  $LB_2=730m$ 으로 갈 수 있음을 알 수 있다. 반복해서 모든 가지를 끝낼 수 있다.

단계 8. 종결(termination)

역추적 단계에서 분지 가능한 가지가 없으면 종결한다. 예에서는 가능해 중에서 가장 작은  $UB=LB_9=880m$ 를 얻을 수 있다. 가지  $K=9$ 에서 정해진 모든 통로의 흐름방향이 최적해이다.

3. 예제의 분석 및 평가

기존의 연구에서는 선적인 차량의 이동만 최소화함으로써 인하여 그림 3의 (가)와 같이 경로를 선정한다. 그러나 우리가 알고자 하는 것은 그림 3의 (나)에서 처럼 선적인 차량의 총 이동

거리와 빈 차량의 총 이동거리를 합한 차량의 총 이동거리를 최소화한 결과이다.

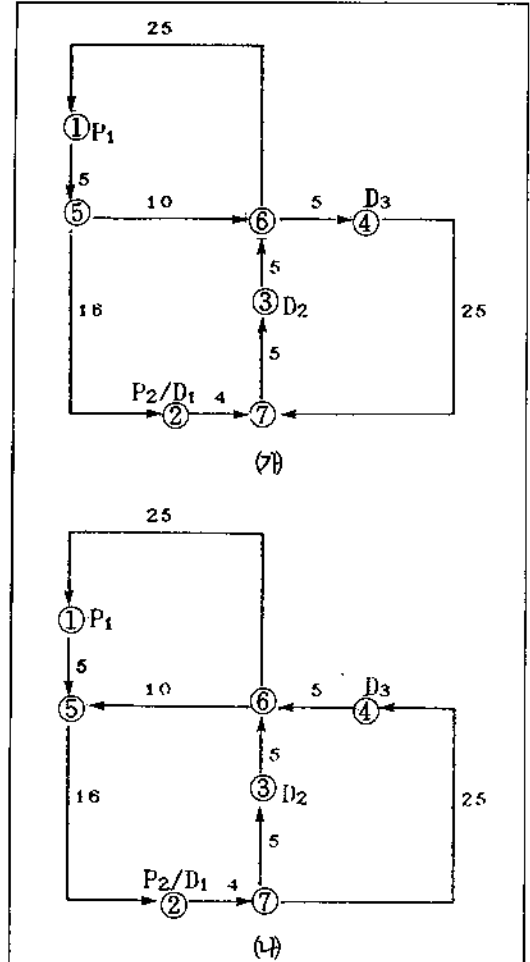


그림 3. (가) 선적인 차량의 이동만 최소화한 경로선정

(나) 선적인 차량과 빈 차량의 이동거리의 합을 최소화한 경로선정

예제의 기존 연구와 본 연구의 최적해인 그림 3의 수치적 분석을 해 보자. 선적인 차량의 총 이동거리만 최소화한 기존 연구에서는, 표 3에서 알 수 있듯이 선적인 차량의 총 이동거리는 347m이고 빈 차량의 총 이동거리는 633m이다. 따라서, 차량의 총 이동거리는 980m이다. 그러나 선적인 차량과 빈 차량의 이동거리를 합한 총 차량의 이동거리를 최소화

한 본 연구에서는, 표 4에서 알 수 있는 것과 같이 선적한 차량의 총 이동거리는 487m이고, 빈 차량의 총 이동거리는 393m로 총 이동거리는 880m이다. 선적한 차량의 총 이동거리는

140m가 늘은 반면, 빈 차량의 이동거리는 240m가 줄어 차량의 총 이동거리는 100m가 줄어든 결과를 가져 왔다. 이것은 궁극적으로 운반차량 댓수의 감소를 가져다 줄 수 있다.

표 3. 그림 3 (가)의 최적 이동거리에 관한 수치

From	To	거리	이동수	이동거리
P <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	21	7	147
P <sub>1</sub>	D <sub>3</sub>	20	3	60
P <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	9	5	45
P <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	19	5	95

선적한 차량의 총 이동거리 347(m)

From	To	거리	이동수	이동거리
D <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	30	2	60
D <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	31	3	93
D <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	60	8	480
D <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	61	0	0

빈 차량의 총 이동거리 633(m)

표 4. 그림 3 (나)의 최적 이동거리에 관한 수치

From	To	거리	이동수	이동거리
P <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	21	7	147
P <sub>1</sub>	D <sub>3</sub>	50	3	150
P <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	9	5	45
P <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	29	5	145

선적한 차량의 총 이동거리 487(m)

From	To	거리	이동수	이동거리
D <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	30	2	60
D <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	31	3	93
D <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	30	8	240
D <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	31	0	0

빈 차량의 총 이동거리 393(m)

이와 같은 결과에 도달하는데 있어서는, 단방향이동 흐름방향 결정문제의 특성을 이용한 분지 및 한계 기법을 사용하여, 경우의 수가 2<sup>9</sup>개나 되는 흐름방향을 14개의 가지만으로 구할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기존의 연구와는 달리 선적한 차량의 이동거리 뿐 아니라 빈 차량의 경제적 분배를 통해 빈 차량의 이동거리까지 고려해 줌으로써 실질적인 차량의 총 이동거리를 최소화하는 최적해를 구하였다. 이렇게 얻어진 결과는 실제 차량의 운행시간과 차량댓수를 최소화하는데 많은 도움을 주리라 본다.

만약 빈 차량이 필요한 시간에 선적장으로 갈 수 없고, 또 규칙적인 운행이 이루어지지 않는 동적인(dynamic) 상황에서는 본 연구에서 구한 해가 최적일 수 없다. 동적인 상황

에서의 연구는 급송규칙을 포함한 모의실험을 필요로 한다[1]. 하지만 기존 논문[7]에서처럼, 자동화공장 시스템과 잘 어울릴 수 있도록, 물건의 수송시간이 균등한 분포를 이루고, 빈 차량이 선적장에 도착시 항상 선적할 물건이 있다면 이 모형은 잘 맞을 것이다. 효율적인 운영을 위한 배차간격을 찾는 과정은 논문[7]을 그대로 이용하면 될 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 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, pp. 17-32, 1987.
2. Egbelu, P.J., and J.M.A. Tanchoco, "Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules," *International J.*



- of *Production Research*, Vol.22, No.3, pp. 359-374, 1984.
3. Egbelu, P.J., and J.M.A. Tanchoco, "Potentials for bi-directional guide-path for automated guided vehicle based systems," *International J. of Production Research*, Vol.24, No.5, pp. 1075-1097, 1986.
  4. Gaskins, R.J., and J.M.A. Tanchoco, "Flow path design for automated guided vehicle systems," *International J. of Production Research*, Vol.25, No.5, pp.667-676, 1987.
  5. Goetz, W.G., Jr, and P.J. Egbelu, "Guided path design and location of load pick-up/drop-off points for an automated guided vehicle system," *International J. of Production Research*, Vol. 28, No.5, pp. 927-941, 1990.
  6. Kaspi, M., and J.M.A. Tanchoco, "Optimal flow path design of unidirectional AGV systems," *International J. of Production Research*, Vol.28, No.6, pp. 1023-1030, 1990.
  7. Maxwell, W.L., and J.A. Muckstadt, "Design of Automatic Guided Vehicle Systems," *IIE Transactions*, Vol.14, No.2, pp. 114-124, 1982.
  8. Venkataramanan, M.A, and K.A. Wilson, "A Branch-and-Bound Algorithm for Flow-Path Design of Automated Guided Vehicle Systems," *Naval Research Logistics*, Vol.38, pp. 431-445, 1991.