

論 文
B3-1

트랜스퍼 크레인의 반입 및 반출 작업순서 결정규칙

이경모* · 김갑환**

Sequencing receiving and delivery operations for a Transfer Crane

K. M. Lee · K. H. Kim

Key Words : 배송규칙 (Dispatching Rule), 시뮬레이션(Simulation), 트랜스퍼 크레인 (Transfer Crane), 컨테이너 터미널 (Container Terminal)

Abstract

Delay time of receiving and delivery is one of important factors that should be considered in the evaluation of the customer service level of a container terminal. In this study, dispatching rules are tested with the objective of minimizing the service delay time for arriving outside trucks. A dynamic programming model is suggested for a static dispatching problem in which all the truck arrivals are known in advance. In order to overcome the excessive computational time of the dynamic programming technique, several heuristic rules are suggested that can be applied in practices. A simulation study is carried out to test the performances of the heuristic rules.

1. 서 론

컨테이너 화물의 물량이 급증함에 따라 컨테이너 터미널의 활용도가 증가되고 따라서 제한된 자원을 더 효율적으로 쓰려는 노력들이 진행되고 있다. 과거에는 모선에 대한 서비스 수준이 컨테이너 터미널의 중요 평가 척도가 되었으나 각 선사의 트럭들에 대한 서비스, 즉, 반입, 반출에 대한 서비스 수준도 또 다른 중요한 척도로서 여겨지고 있다. 이 때 서비스 수준이라 함은 트럭이 컨테이너

터미널에 들어와서 가능하면 빨리 작업을 마치고 터미널을 빠져나가는 것을 의미한다. 즉 트럭의 대기 시간의 정도이다.

본 연구에서는 트럭의 도착 간격시간 분포와 트럭의 현재 위치 정보, 처리시간 및 대기한계시간(due time)은 알려져 있고 장비의 이동 속도는 일정하다고 가정한다. Fig. 1-1에 묘사된 것과 같이 한대의 트랜스퍼 크레인이 여러 위치에 도착한 트럭들을 서비스해 주는 경우를 대상으로 하였다. 본 연구에서는 일정한 시간 이상의 작업 지연에 대

* 부산대학교 대학원

** 정회원, 동아대학교 지능형 통합항만관리 연구센터, 부산대학교 교수

한 비용의 합을 최소화하기 위한 작업 순서 결정 규칙을 도출하고자 한다. 먼저 작업이 사전에 주어진 정적인 문제에 대해서 동적계획법을 적용한 해법을 제시하고자 한다. 이를 위해 여러 발견적 기법들 -FCFS, UT, NT, SPT-을 제안하고 이들 발견적 기법들과 동적계획법의 성능을 비교하기 위해 시뮬레이션 연구를 수행하고자 한다.

2. 정적인 문제에 대한 동적계획법의 적용

동적계획법은 정적인 상황에서 최적해를 제공한다. 다음에 동적계획법의 모델을 수립하기 위한 기호를 소개하겠다.

N_i : 베이 i에서 대기중인 트럭의 수

B : 대상 베이의 총수

b : 베이번호 ($1 \leq b \leq B$)

P_{ib} : 베이 b에서 대기중인 i번째 트럭의 처리 시간.

D_{ib} : 베이 b에서 대기중인 i번째 트럭의 대기한계 시간(Due Time). 트럭은 대기시간이 증가하는 순서

로 인덱스가 매겨져 있다고 가정한다.

C_{ib} : 베이 b에서 대기중인 i번째 트럭의 작업완료 시간(Completion Time)

T_{bc} : 베이 b에서 베이 c로의 이동소요시간

$f_{ib}(t)$: t시점에서 베이 b에서 대기중인 i번째 트럭의 지연시간 ($C_{ib} - D_{ib}$)

동적계획법 모델을 수립하기 위해서 상태를 정

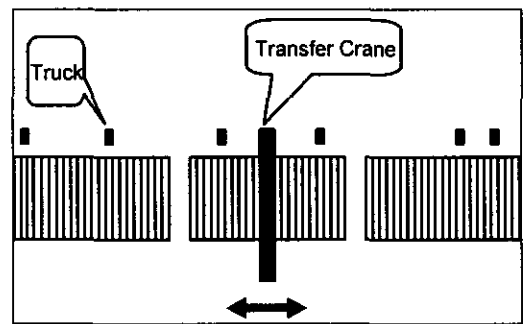


Fig. 1-1 트랜스퍼 크레인의 작업 상황

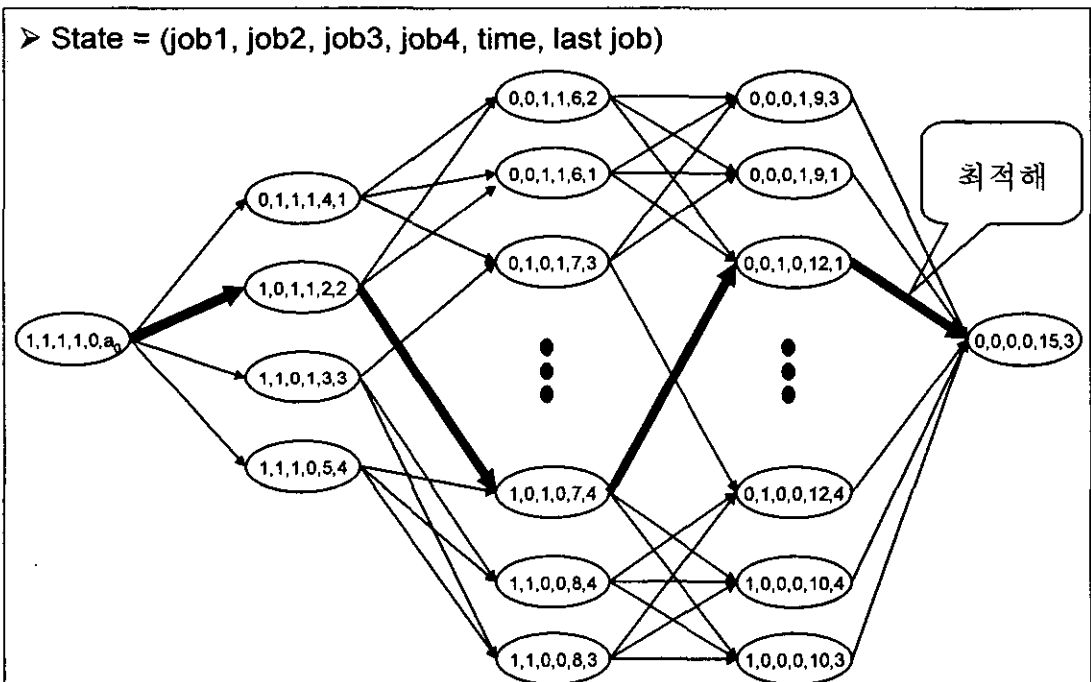


Fig. 2-1 동적계획법의 상태 전개

의하면 $S_n = (n_1, n_2, \dots, n_B, t, a)$ 과 같이 표현할 수 있다. 이때 n_i 는 베이 i 에서 대기중인 트럭의 수를 나타내고 t 는 현재의 시간을 나타내며, a 는 현재까지 마지막으로 서비스한 베이를 나타낸다. 그리고 $n = n_1 + n_2 + \dots + n_B$ 이다. 비용함수는 $C(n_1, n_2, \dots, n_B, t, a)$ 와 같이 나타내고 이는 상태 $(N_1, N_2, \dots, N_B, 0, a_0)$ 에서 $(n_1, n_2, \dots, n_B, t, a)$ 까지의 소요 비용을 나타낸다. 여기서 a_0 는 트랜스퍼 크레인의 초기위치이다. 목적함수는 $C(0, 0, \dots, 0, t, a)$ 를 최소화하는 것이고 이때 t 와 a 는 임의의 값을 가질 수 있다. recursive equation은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$C(n_1, n_2, \dots, n_B, t, a) = \min_{0 \leq a \leq B} \{ C(n_1, n_2, \dots, t, c) + f_{n,a}(t) \}$$

이때

$$n_b = n_b (b \neq a), n_a = n_a + 1, t = t - p_{n,a} - T_{ca}$$

이와 같은 동적계획법은 상태의 수가 폭발적으로 늘어 나는 특성을 지니고 있다. 예를 들어 4대의 트럭이 도착한 문제를 생각해 보면, Fig. 2-1과 같이 표현될 수 있고 n_i 만 고려하더라도 2^n 개 상태가 발생하고 t 와 a 를 고려하면 훨씬 더 상태의 수가 늘어나게 된다.

Table. 2-1과 같은 예제를 풀어 보자.

Table. 2-1 정적인 문제의 예제

베이번호	5	6	7	8	9	10
처리시간	4	-	2	3	-	5
Due Time	10	-	4	15	-	7

Table. 2-1과 같이 5, 7, 8, 10번 베이에 트럭들이 도착해 있고 각각의 처리시간과 Due time이 주어

져 있다. 이 때 트랜스퍼 크레인의 현재 위치는 5번 베이에 있다고 하고 이동속도는 7초/베이라 하자.

주어진 식에 의해 동적계획법을 적용하면, Table. 2-2와 같은 결과가 나온다. 상태 열의 '1011'라는 표현은 두 번째(7번 베이) 작업을 마치고 나머지 3개의 작업(5, 8, 10번)이 남아 있다는 의미이다. a 열에 1-4까지의 번호가 있는데 이것은 제일 첫 번째 위치(5번 베이)에 있는 트럭을 1번으로 보고 순차적으로 각각 1(5번), 2(7번), 3(8번), 4(10번) 편의상 정한 숫자이다. S_{n+1} 은 S_n 에서의 최소비용을 주는 직전 단계에서의 상태번호를 나타내고 비용은 해당 상태까지 오는데 소요된 누적 비용이다.

동일 상태가 생성될 때마다 동적계획법의 특성을 이용하여 시간과 비용이 모두 큰 상태는 제거시켰다. 예를 들면, 27번 상태는 '1010'이기 때문에 상위 단계에서 두 가지 상태로부터 올 수 있다. 즉, 32번인 '1011'과 34번 '1110'으로부터 온다.

이 때 32번에서 올 경우,

$$- \text{시간} = 2.23 + 7 \cdot 3/60 + 5 = 7.59$$

$$- \text{비용} = 7.59 - 7 = 0.59$$

34번에서 올 경우,

$$- \text{시간} = 5.59 + 7 \cdot 3/60 + 2 = 7.94$$

$$- \text{비용} = 7.94 - 7 = 0.94$$

이므로 34번 상태는 32번 상태보다 시간과 비용이 모두 크므로 제거시킨다.

이렇게 해서 최종 '0'번 대의 상태들의 비용을 비교하여 제일 작은 값을 찾아 S_{n+1} 들을 역방향으로 찾아 올라가면, 최적의 작업 순서는 7번, 10번, 5번, 8번 순서로 결정된다.

이 동적계획법을 통해서 정적인 상황에서 최적의 작업순서를 발견해낼 수 있다. 하지만 이것이 동적인 상태 즉, 위의 경우 4대의 트럭 중 한 대를 처리하는 동안에 또 다른 트럭이 도착하는 상황일 때 이 동적계획법이 과연 좋은 성능을 보일 것인지 시뮬레이션을 통해 알아본다.

Table. 2-2 동적계획법 실행 결과

상태 번호	상태 (S _n)	t	a	최적해에서의 직전상태 (S _{n-1})	비용
41	1111	0.00	0	00	0.00
31	0111	4.00	1	41	0.00
32	1011	2.23	2	41	0.00
33	1101	3.35	3	41	0.00
34	1110	5.59	4	41	0.00
21	0011	6.23	2	31	2.23
22	0011	6.47	1	32	0.00
23	0101	7.35	3	31	0.00
24	0110	9.59	4	31	2.59
25	0110	10.17	1	34	0.17
26	1001	5.35	3	32	0.00
27	1010	7.59	4	32	0.59
28	1100	8.59	4	33	1.59
29	1100	8.82	3	34	0.00
11	0001	9.35	3	21	2.23
12	0010	11.59	4	21	6.82
13	0001	9.70	1	26	0.00
14	0010	12.17	1	27	2.76
15	0010	12.05	4	22	5.05
16	0100	12.59	4	23	5.59
17	0100	12.82	3	24	2.59
18	0100	13.52	3	25	0.17
19	1000	10.59	4	26	3.59
110	1000	10.82	3	27	0.59
01	0000	14.59	4	11	9.82
02	0000	14.82	3	12	6.82
03	0000	15.52	3	14	3.28
04	0000	15.29	3	15	5.34
05	0000	15.17	1	110	5.76

3. 발견적 기법과 시뮬레이션

본 연구에서는 동적인 환경에서 좋은 성능을 보이는 발견적 기법을 찾기 위해 네 가지 발견적 기법을 비교 평가하였다.

- i) FCFS (First-come-first-served): 가장 먼저 들어온 트럭을 먼저 처리한다.
- ii) UT (Unidirectional Travel): 한쪽 방향으로 진행하면서 트럭을 서비스하다가 진행방향에

트럭이 없으면 방향을 바꾼다.

- iii) NT (Nearest Truck First Served) : 크레인의 현재 위치에서 가장 가까이에 있는 트럭을 처리한다.
- iv) SPT (Shortest Processing Time Rule) : 서비스 시간(실제로 컨테이너를 처리하는 시간 + 이동시간)이 가장 짧은 트럭을 먼저 처리한다.

본 연구에서 시뮬레이션은 Fig. 1-1에 나타난 것처럼 3개의 블록을 대상으로 하였고 1개의 블록에는 25개의 배이가 있다. 그리고 블록간에는 4개 배이 크기만큼의 공간이 있다. 트럭의 도착은 평균 6분인 지수분포를 따른다고 가정하였다. 컨테이너 한 개당 처리시간은 평균 1.4333분으로 하였고 반출작업시 재취급 시간도 고려하였다. 트랜스퍼 크레인의 이동속도는 7초로 일정하다. 트럭 5,000대에 대해서 실험하였고 Preemption은 없는 것으로 하였다. 최대 대기 시간은 30분으로 하였고 대기시간이 30분을 초과하는 트럭부터 비용이 부과된다.

여기서 동적계획법은 하나의 작업을 처리한 후 다시 계산하였고(rolling horizon 방식) 계산시간이 트럭이 7대일 때 66초 정도이고 그 이상이 되면 폭발적으로 계산 시간이 증가되기 때문에 최대 7개까지만 고려하고 나머지는 제거(Balking) 시켰다.

4. 시뮬레이션 결과 분석

다음의 Table들에 실험 결과들을 정리하였다.

Table. 4-1 평균대기시간 (minute)

구분	FCFS	UT	NT	SPT	DP
평균	35.67	20.63	20.82	20.42	21.57
분산	128.60	180.94	240.97	247.40	256.41

Table. 4-2 최대대기시간 (minute)

구분	FCFS	UT	NT	SPT	DP
최대	72.25	85.21	132.27	130.31	150.69

Table. 4-3 평균이동거리 (베이)

구분	FCFS	UT	NT	SPT	DP
평균	28.95	15.61	15.28	15.61	14.85
분산	423.33	253.20	269.38	266.73	254.82

Table. 4-4 트랜스퍼 크레인의 활용도 (%)

구분	FCFS	UT	NT	SPT	DP
활용도	81	87	86	86	88

Table. 4-5 비용 (완료시간 - Due Time)

구분	FCFS	UT	NT	SPT	DP
비용	40,099	12,331	15,905	15,761	17,608

실험결과 평균대기시간은 SPT가 가장 좋았고 최대 대기 시간은 FCFS, 평균 이동 거리와 트랜스퍼 크레인 활용도는 DP가 가장 좋은 성능을 보였다. 당연히 이동거리가 짧은 규칙이 활용도가 가장 높은 것으로 나타났다. 하지만, 비용 측면에서는 UT가 단연 우세한 결과를 보이고 있다. 이것은 UT가 어느 정도 이동 거리를 최소화하면서 평균 대기 시간을 줄여주는 규칙이기 때문이다. 즉, 정해진 방향으로 끝까지 진행하기 때문에, NT, SPT, DP 등에서처럼 한 번 줄을 잘못 서면 계속해서 기다리는 현상이 생기지 않기 때문이다. 예를 들어, NT의 경우를 보면, 1번 베이에 한 대가 있고 5번 베이에 한 대가 기다리고 있고 트랜스퍼 크레인의 현재 위치가 4번 베이라 하면, 트랜스퍼 크레인은 먼저 가장 가까운 5번 베이에 있는 트럭을 먼저 처리하게 된다. 이 때 5번 베이에 있는 트럭을 처리하는 도중 6번, 7번 베이 등으로, 1번 베이보다 가깝게, 5번 베이보다 큰 방향으로 계속해서 트럭이 도착하게 되면, 1번 베이의 대기 시간은 급격하게 증가하게 되어 많은 비용이 발생하게 된다. 반면, UT의 경우는 새로 도착하는 트럭에 대해 둔감하게 반응함으로 이렇게 해서 발생하는 비용을 크게 줄일 수 있다.

5. 결론

작업이 사전에 미리 주어진 정적인 문제에 대해서 동적계획법을 적용한 해법을 제시하고 실례를 보였다. 정적인 문제를 최적화 하는 기법이 동적인 환경에서도 좋은 성능을 보이지 않음을 시뮬레이션 연구를 통해 알아보았다. 시뮬레이션 결과, 한 쪽 방향으로 대기 중인 트럭을 서비스 한 다음 다른 방향으로 서비스를 계속해 나가는 단 방향 서비스 방식(UT)이 최선의 성능을 보여 줌을 알 수 있었다.

향후 단 방향 서비스 방식(UT) 보다 더 나은 발전적 기법이나 의사 결정 규칙들이 다양하게 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

- 1) 류명욱, 컨테이너 터미널에서의 작업시간에 관한 연구, 석사학위논문, 부산대학교, 1998.
- 2) 박영만, 재취급을 고려한 수출 컨테이너 장치위치 결정법, 석사학위논문, 부산대학교, 1997.
- 3) Blackstone, J. H., Jr., Phillips, D. T. and Hogg, G. L. (1982), "A state-of-the art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations", Int. J. Prod. Res. Vol. 20, No.1, pp. 27-45.
- 4) Han, M. H., and McGinnis, L. F. (1989), "Control of material handling transporter in automated manufacturing", IIE Trans. Vol. 21, No. 2, pp. 184-190
- 5) Monma, C. L. and Potts, C. N. (1989), "On the complexity of scheduling with batch setup times", Opns. Res. Vol. 37, No. 5, pp. 798-804.