

■ 論 文 ■

철도연계터미널에서의 컨테이너 집배송전략의 개발과 평가

Development and Evaluation of Pick-Up and Delivery Strategy of Container Truck at Rail-Road Transshipment Terminal

정 승 주

(교통개발연구원 책임연구원)

목 차

I. 서론	1. 집배송전략의 설정
II. 컨테이너집배송의 개선방법	2. 전략별 알고리즘 절차
1. 컨테이너집배송의 특징	IV. 실험 및 평가
2. 컨테이너집배송 개선대안 설정	1. 테스트문제 설정
3. 개선방식별 해도출알고리즘의 개념 및 방법	2. 전략의 평가 및 비교
III. 전략 설정 및 알고리즘 절차	V. 결론
	참고문헌

Key Words : 컨테이너, 철도-공로 복합운송, 집배송, 시뮬레이션, 연계터미널

요 약

철도-공로 복합화물운송은 최초출발지에서 최종목적지까지 화물을 수송함에 있어 철도와 화물자동차를 연계하는 운송시스템이다. 철도-공로 복합화물운송에서 공로(화물자동차)의 역할은 집배송 기능으로 전체 운송과정의 경쟁력에 중요한 영향을 미친다. 본 연구는 철도-공로 복합화물운송의 대표적 화물인 컨테이너를 대상으로 집배송 부분의 효율성을 제고시키기 위한 운송전략을 개발하고 평가하는 데 목적이 있다. 이를 위해 컨테이너트럭의 운송거리 최소화를 지향하는 전략과 고객에서의 대기시간 최소화를 주목적으로 하는 전략 등 2개의 집배송 개선전략이 개발되었다. 개발된 전략들은 파리수도권의 실제 집배송망에 적용되어 그 효율성이 비교, 평가되었다. 기존 집배송방식과의 시뮬레이션 비교결과 제안된 전략들이 다양한 성과지표에서 상당히 효율적임이 입증되었다.

Rail-road intermodal freight transport is a transportation system that rail and road transport are utilized between origins and destinations. The roles of road(truck) in rail-road intermodal freight transport are pick-up and delivery that are keys parts of total transportation process. The objective of this study is to develop and evaluate the pick-up and delivery strategies for container trucks in order to increase their productivity. Two different strategies are developed : One is aimed for minimizing the total traveling distance of container and the other is to reduce the waiting time at client site. The comparative studies are performed on the actual network of Paris metropolitan. The simulation analysis shows that the proposed strategies are quite efficient in various performance measures.

1. 서론

철도-공로 복합화물운송은 출발지에서 목적지까지 화물을 수송함에 있어 철도와 화물자동차를 연계하는 운송시스템이다. 철도는 두 연계터미널간의 장거리구간에서 대량으로 수송하는 역할을 담당한다. 화물자동차는 연계터미널과 최종출발지 및 최종목적지까지의 집배송을 담당한다. 따라서 철도-공로 복합운송은 두 운송수단의 장점 - 철도에 의한 수송규모의 경제와 화물자동차의 높은 접근성 및 신속성 - 을 발휘하는 것을 지향한다. 철도-공로 복합운송은 장거리 구간에서 철도의 대량수송성에 의해 경쟁력을 가진다. 유럽의 경우 철도의 대량수송성을 극대화하기 위해 Hub-and-spoke 운송전략 등 새로운 철도서비스가 도입되고 있고 (INRETS(2000a)), 시스템이나 모형개발을 통해 운송전략의 효율성과 적용성에 대한 평가가 이루어지기 시작하고 있다(정승주(2004a, 2004b), INRETS(2000b), ITM(1999)).

철도-공로 복합운송에서는 운송화물을 효과적으로 취급하기 위해 컨테이너화물을 주대상으로 하고 있다. 컨테이너화물은 표준용기인 컨테이너가 운송단위인 관계로 철도간선구간에서 운송수단이 다른 집배송구간으로 연계가 용이하다는 장점을 지니고 있기 때문이다. CEMT(1998)은 협의의 복합운송을 정의할 때 컨테이너 등 전문수송용기의 사용을 필수적인 요소로 지적하고 있다. 최근 우리나라에서도 철도화물운송의 활성화 차원에서 철도-공로 복합운송정책의 중요성이 제기되고 있다(교통개발연구원(2003), 철도기술연구원(2003)).

수송의 완결성이 취약한 철도의 경우 연계운송은 철도화물운송시장의 확대측면에서 필연적이다. 그러나 우리나라의 경우 좁은 국토공간과 조밀하지 못한 철도운송망 등으로 많은 한계를 보이고 있다. 더욱이 공로구간에서의 컨테이너집배송은 상대적으로 높은 비용지출로 화주가 철도이용을 기피하는 한 요인이 되고 있다. 이러한 철도여건 및 경쟁상황에 따라 컨테이너집배송에 대한 개선은 철도화물운송의 활성화측면에서 중요한 과제 의 하나로 제기되고 있다.¹⁾

컨테이너집배송문제는 차량경로문제(Vehicle rout-

ing problem)의 범주에 속한다. 차량경로문제는 차량이 한 배송센터에서 출발하여 단수 또는 복수의 고객을 거치면서 서비스를 제공하고 귀환할 수 있는 최소비용의 경로를 결정하는 문제이다. 기본적으로 차량은 각 고객에 한번 서비스해야 하고, 각 고객은 차량의 용량을 초과함이 없이 할당되어야 하는 조건을 만족해야 한다. 그러나 차량경로문제는 배송센터의 수, 고객의 집배송요구시간의 유무, 운송화물 특성 등 다양한 조건에 따라 많은 변형문제가 도출된다. 가령 고객이 요구하는 서비스시간(집배송요구시간)이 존재하는 경우, 이를 시간제약을 가진 차량경로문제(Vehicle routing problem with time windows constraints)라 부른다. 따라서 차량경로문제는 다양한 현실문제에 대응하여 다양한 모형식(formulation)과 알고리즘이 기존의 많은 연구에서 다루어져 왔다²⁾

차량경로문제는 일반적으로 최적해(optimal solution)의 계산이 어렵다는 점 때문에 해 도출을 위해 상당수의 연구가 가능해(feasible solutions)를 개선하는 데 목적을 두는 휴리스틱(heuristic)방법에 의존하고 있다. 가령 대표적인 차량경로문제인 외판원방문문제(Traveling salesman problem)의 경우 수학적으로 NP-complete문제로 알려져 있어 최적해를 도출하기가 용이하지 않아 대부분의 연구가 휴리스틱 알고리즘의 개발에 집중하고 있다. 차량경로문제에서의 대표적인 휴리스틱 알고리즘으로는 Clark and Wright(1964)가 연계운송방식에 따른 운송시간절약에 기초하여 개발한 세이빙 휴리스틱(Saving heuristic)을 들 수 있다.

본 연구에서 다루는 컨테이너집배송문제는 통상 고객의 집배송요구시간이 존재하므로 시간제약을 가진 차량경로문제의 범주에 속한다. 그러나 기존의 일반적인 차량경로문제와 알고리즘을 그대로 적용하기는 곤란하다. 기존사례의 대부분이 차량에는 여러 고객에게 수송될 화물이 혼재되어 있는 반면 컨테이너집배송의 경우 컨테이너자체가 각 고객의 요구화물이기 때문에 고객과 차량이 대응된다. 특히 집송 또는 배송된 컨테이너내의 화물을 적재 또는 하역하는 데 많은 소요시간이 걸린다는 특성이 있다.

컨테이너집배송에 대한 운행실태 및 운행방식과 관

1) 정승주·문진수(2004)는 철도-공로복합운송과정의 서비스개선에 있어 집배송단계가 철도간선운송단계와 연계터미널환적단계와 비슷한 중요도를 보이는 것으로 분석함. 이는 프랑스의 경우 집배송단계의 중요도는 철도간선운송단계의 1/3 수준, 연계터미널환적단계의 1/2 수준인 것과 크게 비교됨.

2) 자세한 기존관련연구의 예는 Solomon(1987)과 Daskin(1985)이 고찰한 기존연구사례를 참조할 것.

련한 사례연구는 일부 존재(Niérat(1992b))하나 컨테이너집배송문제의 효율성을 개선하거나 최적해를 도출하기 위한 연구는 찾아보기 힘들다. 이러한 의미에서 본 연구는 기존의 컨테이너집배송방식을 개선하기 위해 대안을 제시하고, 그 대안을 토대로 집배송전략을 구현하는 알고리즘을 개발하여 기존의 집배송방식과 효율성을 비교하는 데 목적이 있다. 본 연구에서는 컨테이너집배송문제의 특성을 고려하여 공차거리를 최소화하기 위한 운송방식과 고객에서의 상하역지체시간을 최소화하여 차량회전율을 극대화하는 운송방식 등 2가지 개선대안을 제시한다. 각 개선방식별 컨테이너집배송문제를 해결하기 위해 본 연구는 휴리스틱알고리즘을 개발한다. 개선방식은 터미널출발차량이 한 고객에 서비스하고 귀환하는 운송형태를 취하고 있는 기존방식과의 비교분석을 통해 그 효율성을 검증한다. 개선방식에 대한 효율성과 실제문제에의 적용성을 검증하기 위해 본 연구는 철도-공로 복합운송이 비교적 활성화되어 있는 유럽의 실제 집배송망자료를 이용한다. 적용대상으로 유럽사례를 선택한 이유는 우리나라의 경우 철도-공로 연계수송이 활성화되지 않고 있고 집배송을 담당하는 복합운송업체의 미발달로 사례문제를 찾기가 어렵다는 점 때문이다.

II. 컨테이너집배송의 개선방법

1. 컨테이너집배송의 특징

철도-공로 복합운송에서 화물자동차에 의한 컨테이너집배송의 특징을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 고객에 대해 배송과 집송의 두 서비스 형태가 존재하며, 높은 공차통행(통상 50%)이 발생한다. 즉 연계터미널에 도착된 컨테이너는 컨테이너운송차량에 의해 최종고객까지 배송이 이루어지며 배송 후 컨테이너는 공차로 터미널로 귀환하게 된다. 반대로 철도로 이용하기 위해 연계터미널로 운송되는 집송의 경우 운송차량은 컨테이너를 적재하기 위해 고객에게까지 공차로 가게 된다.

둘째, 고객이 요구하는 집배송시간에 맞추어 컨테이

너차량이 고객에 도착할 수 있어야 한다. 고객의 요구시간을 준수하지 못할 경우 장시간의 차량대기시간이 발생하게 되기 때문이다.

셋째, 컨테이너운송이므로 1회 운송시 통상 1개의 컨테이너만을 운송할 수밖에 없다는 제약이 존재한다. 그리고 고객측에서 컨테이너에 화물을 적재하든지 하역하든지 하는 화물처리시간이 요구된다. 1개의 컨테이너 내에 적재할 화물을 채우거나 적재한 화물을 하역하는데 일정의 처리시간(프랑스의 경우 2시간정도)이 소요된다.

결국 컨테이너집배송의 생산성을 극대화하기 위해서는 공차통행과 차량대기시간을 최소화해야 함을 의미한다. 따라서 Niérat(1992b)도 지적한 바와 같이 철도-공로 복합운송시 연계터미널에서의 컨테이너 집배송의 효율성은 공차운행과 차량당 컨테이너 취급량에 좌우된다. 두 지표는 상호관계를 가지게 되는데, 가령 공차거리율이 감소하면 차량의 컨테이너 취급수가 증가한다. 차량의 컨테이너 취급수는 집배송과정중에 발생하는 지체시간을 줄임으로서 증가시킬 수도 있다.

2. 컨테이너집배송 개선대안 설정

본 연구는 컨테이너집배송의 효율성을 개선하기 위한 방식으로 차량의 공차거리감소를 지향하는 saving 기반 연계운송방식³⁾과 차량의 고객에서의 지체시간 감소를 지향하는 탈·부착(Uncoupling-and-coupling) 기반 운송방식⁴⁾을 제시한다. 개선대안은 컨테이너집배송의 특징 - 차량의 높은 공차통행과 고객에서의 높은 대기시간 - 을 고려하여 고안된 것이다.

1) 기존운송방식

기존의 집배송운송방식은 컨테이너, 차량, 고객이 서로 대응되는 관계로 차량의 운송경로가 고객별로 개별 운송방식을 취하고 있다. 이 경우 대부분의 차량이 50%의 공차통행을 하게 된다. 더욱이 고객측에서의 상하역시간이 길어 구조적으로 지체시간도 상당히 발생하게 된다.

3) Saving기반 연계운송은 Clark and Wright(1964)이 단일 배송센터를 가진 차량경로문제를 위해 개발한 휴리스틱 알고리즘으로 본 고에서는 컨테이너집배송의 특성을 고려하여 수정하여 적용함.

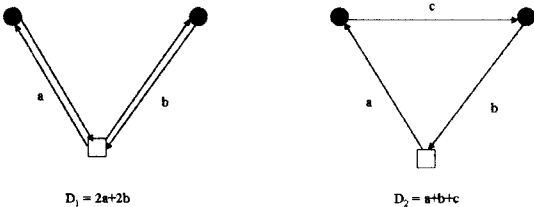
4) Uncoupling-and-coupling은 철도화물운송에 있어 화차구성시 열차로부터 화차를 분리(uncoupling) 또는 연결(coupling)을 의미하는 개념으로서 본 연구에서는 컨테이너화물차량으로부터 트레일러부분의 분리 및 연결을 나타내는 개념으로 사용함.

2) 개선대안 1: saving기반 연계운송방식

Saving기반 연계운송방식은 절약시간값(saving값) 개념을 이용하는 집배송방법이다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 saving값은 화물차량이 1차 고객에서 다시 2차 고객에게까지 연계하여 수송함으로써 절약되는 운송거리(또는 운송시간)로 정의된다. saving값은 고객별 개별운송시 총 소요운송시간과 연계운송시 총 소요운송시간과의 차로써 식(1)과 같이 계산된다. 결국 Saving기반 연계운송방식은 saving값이 가장 큰 고객 순으로 선택하여 순차적으로 운송하는 방식으로, 화물운송, 특히 차량경로문제에 주로 적용되나 배송센터입지결정문제 등 집배송이 일어나는 관련문제에도 빈번히 응용되고 있는 방법이다(Jacobsen (1980), Madsen (1983)).

Saving기반 연계운송방식을 컨테이너집배송에 적용할 경우 운송거리 외에 공차통행을 크게 줄일 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이 방식이 고객에서의 차량대기시간을 줄이기는 어렵다는 점이 있다.

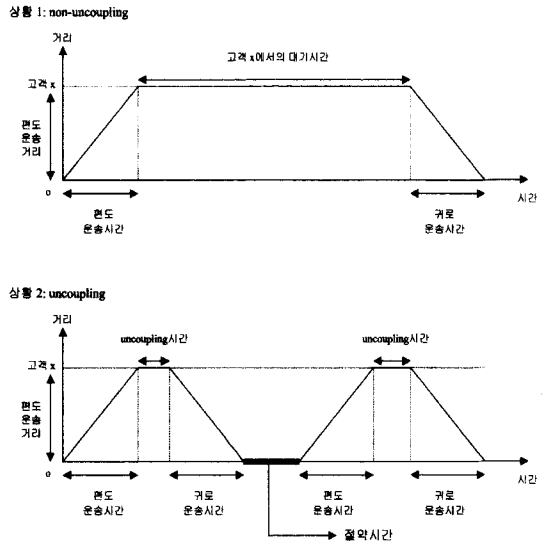
$$\begin{aligned} \text{saving값}(V) &= D_1 - D_2 \\ &= (2a + 2b) - (a + b + c) \end{aligned} \quad (1)$$



<그림 1> saving기반 연계운송에 의한 saving값 개념

3) 개선대안 2: 탈·부착기반 운송방식

컨테이너 집배송과정 중 고객에서의 컨테이너 적재 시간 또는 하역시간은 평균 2시간이 소요된다. 이때 상하역중인 화물차량은 대기할 수밖에 없다. 이러한 대기시간은 화물차량의 트랙터부분을 컨테이너를 적재하는 트레일러부분과 분리(uncoupling)하면 크게 줄일 수 있다. 즉, 분리하는데 소요시간이 15분 정도여서 분리된 트랙터를 집송대상인 2차고객에 들러 다른 컨테이너를 부착(coupling)하여 연계터미널로 돌아올 경우 대기시간과 운송거리를 절약할 수 있게 된다. 탈·부착기반 연계운송방식의 개념을 도시하면 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 탈·부착기반 운송의 개념

3. 개선방식별 해도를 알고리즘의 개념 및 방법

1) saving기반 연계운송방식

본 연구에서 제시한 문제에서 saving기반 연계운송방식을 적용하기 위해 식(1)의 saving값을 다시 표현하면 식(2)와 같다.

$$V(s, x) = a \{ D(o, s) + D(o, x) - D(s, x) \} \quad (2)$$

여기서,

- o : 집배송터미널을 나타내는 인덱스
- s : 컨테이너를 배송하여야 하는 고객의 인덱스
- x : 화물차량이 saving기반 연계운송방식에 의해 컨테이너를 픽업하여야 하는 고객의 인덱스

$V(s, x)$: saving값

a : km당 수송비

$D(s, x)$: 고객 s와 고객 x 사이의 운송거리

그러나 컨테이너 집배송의 경우 연계운송이 가능하기 위해서는 고객이 요구하는 집배송시간을 만족하여야 한다. 따라서 식(2)의 saving값의 계산은 식(3)과 같이 표현된 집배송요구시간의 제약내에서 이루어진다.

$$H(x) - \{ H(s) + \beta \} > D(s, x) / \theta \quad (3)$$

여기서,

$H(x)$: 화물차량이 고객 x 에 도착하여야 하는 시간

β : 고객에서의 컨테이너 평균하역시간 또는 평균적재시간

v : 화물차량의 평균운행속도

식(3)의 좌변은 1차 고객 s 에 도착하여 화물처리가 완료된 시간과 2차 고객의 차량도착 요구시간과의 차이를 나타낸다. 반면 우변은 1차 고객으로부터 2차 고객까지의 운송소요시간을 나타낸다. 결과적으로 연계운송방식에 의해 발생하는 대기시간비용은 식(4)와 같이 계산된다.

$$\eta(s,x) = \mu\{H(x) - \{H(s) + \beta\} - \{D(s,x)/v\}\} \quad (4)$$

단, $H(x) - \{H(s) + \beta\} > D(s,x)/v$

여기서,

$\eta(s,x)$: 고객 x 로 연계운송함으로써 발생하는 화물 차량의 대기시간비용

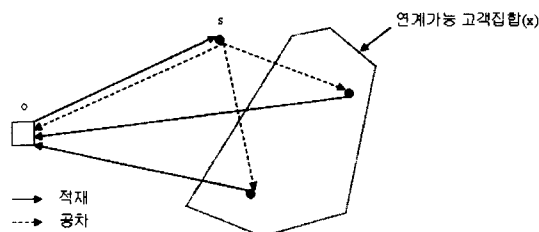
μ : 단위시간당 대기시간비용

연계운송의 대상고객 x 가 k 개 있다고 가정하면, 연계운송비용을 최소화하기 위해서는 $\eta(s,x) - V(s,x)$ 의 값을 최소화하여야 한다. 대상고객 x 와의 연계운송에 따른 대기시간(= $H(x) - \{H(s) + \beta\}$)은 적어도 연계운송을 하지 않을 경우의 지체시간보다는 작아야 하며, 이 경우를 수식으로 나타내면 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

$$H(x) - \{H(s) + \beta\} < \{D(o,s) + D(o,x)\}/v \quad (5)$$

식(5)의 우변은 연계운송을 하지 않을 경우 고객 s 에서 연계터미널 o 로 돌아간 후 지체없이 다시 고객 x 로 갈 경우 소요되는 시간을 나타낸다.

$\eta(s,x) - V(s,x) = \xi(s,x)$ 라 두면, 결국 k 대상고객



(그림 3) 2차 고객으로의 연계운송 상황

(x) 중 연계할 대상고객은 식(3)과 식(5)의 조건을 동시에 만족하면서 $\xi(s,x)$ 가 가장 작은 값을 가진 고객을 선택하여야 한다.

2) 탈·부착기반 운송방식

탈·부착기반 운송방식을 적용할 경우 개별고객별 운송방식보다 절약되는 대기시간은 $\{2D(o,x)/v + \lambda\} - \{4D(o,x)/v + 2\delta\}$ - 여기서, λ 는 탈·부착기반 운송방식을 적용하지 않을 경우의 고객에서의 상하역시간, δ 는 탈·부착기반 운송방식을 적용할 경우의 소요시간 - 으로 표현된다.

탈·부착기반 운송방식이 적용되기 위해 대기시간비용 및 운송비용이 탈·부착기반 운송방식을 적용하지 않을 경우 보다 작아야 한다. 즉,

$$a\{4D(o,x)\} + \mu\{4D(o,x)/v + 2\delta\} < a\{2D(o,x)\} + \mu\{2D(o,x)/v + \lambda\}$$

이 성립되고, 결과적으로 식(6)이 성립한다.

$$D(o,x) < \mu(\lambda - 2\delta) / \{2(a + (\mu/v))\} \quad (6)$$

단, $\lambda > 2\delta$

식(6)의 우변은 연계터미널과 고객의 위치와 관련이 없으므로, 고객의 위치를 고려하지 않는 연계터미널과 고객간의 운송거리 임계치(= π)를 식(7)과 같이 설정할 수 있다.

$$\pi = \mu(\lambda - 2\delta) / \{2(a + (\mu/v))\}, \quad (7)$$

단, $\lambda > 2\delta$

탈·부착기반 운송과정에서 임계치 π 는 중요한 역할을 한다. π 는 탈·부착기반 운송이 적용되는 대상고객의 선정기준이 되기 때문이다. 즉, 연계터미널과의 운송거리가 π 보다 작은 값을 가지는 고객이 탈·부착기반 운송의 대상이 된다. 반면 이 외의 고객은 기존의 방식이나 saving기반 연계운송방식이 적용되게 된다.

III. 전략 설정 및 알고리즘 절차

1. 집배송전략의 설정

앞서의 집배송비용을 줄일 수 있는 방법을 기준으로

다음의 전략적 시나리오를 설정할 수 있다.

- 전략 1 : saving기반 연계운송방식과 탈·부착기반 운송방식을 사용하지 않는 경우(기존의 고객별 개별운송방식)
- 전략 2 : 전략1+saving기반 연계운송방식을 병행 사용하는 경우
- 전략 3 : 전략2+탈·부착기반 운송방식을 병행 사용하는 경우

전략 1은 기존 시장에서 대부분 이용하는 상황으로 컨테이너차량이 고객에 서비스하고 터미널로 귀환하게 된다. 이 경우 50%의 공차가 발생한다. 전략 2는 연계운송이 적용될 수 없는 고객(가령 배송대상 고객)은 기존의 고객별 개별운송을 적용하고, 나머지 고객에 대해서는 saving기반 연계운송방식을 적용하는 대안이다. 마지막으로 전략 3은 기존의 방법 외에 saving기반 연계운송방식, 탈·부착기반 운송방식을 통합 적용하는 개선대안이다.

2. 전략별 알고리즘 절차

알고리즘절차의 설명에 사용되는 기호는 다음과 같이 정의한다.

- $P(s)$: 화물차량이 고객요구시각을 만족하면서 고객 s 까지 가기 위해 연계터미널에서 출발하여야 하는 시각
- M : 탈·부착을 위한 대상고객의 집합
- N : 연계운송을 위한 대상고객의 집합
- $\theta(y)$: 고객 x 와 연계운송이 가능하도록 하기 위해 고객 x 로부터 다른 모든 고객 $y(=1, \dots, r)$ 까지 가는 데 소요되는 비용

1) 전략 2

고객별 개별운송방식과 saving기반 연계운송방식을 병행하는 전략 2의 시뮬레이션 절차는 다음과 같다.

- (1) 터미널, 고객 등이 위치한 존간 운송거리 및 운송시간 행렬표를 작성한다.
- (2) 모든 고객에 대해 $P(s)$ 을 계산하고 이른 시간 순으로 분류한다

(3) 개별고객별 운송방식에 의해 다음의 절차에 따라 화물차량을 배정한다.

- ① 모든 짐송대상고객 s 중 배정되지 않은 고객에 대하여 개별고객별 운송방식에 의해 화물차량을 배정함. 단, 화물차량은 다음의 조건을 만족하여야 함.
 - ㉠ 조건 1 : $P(s)$ 보다 일찍 연계터미널에 도착하여야 함
 - ㉡ 조건 2 : 잔여근무시간이 고객 s 를 위한 서비스제공 소요시간보다 커야 함
- ② ①에서 화물차량이 조건 1 또는 2를 만족하지 않을 경우 다음의 $P(s)$ 를 선택하고 ①의 과정을 반복함. 조건 1과 2를 만족하는 고객이 없다면 새로운 화물차량을 선택함.
- ③ 고객 s 가 배송대상고객이고 차량이 배정되지 않았다면 (4)로 감.
- (4) 연계운송방식에 의해 다음의 절차에 따라 화물차량을 배정한다.
 - ① 고객 s 와 연계운송되는 고객 $x(=1, \dots, k)$ 의 집합을 설정함. 단, 고객 x 는 차량이 배정되지 않았어야 하고 짐송대상 고객이어야 함. 모든 고객 x 에 대해 다음절차를 수행함.
 - ㉠ $H(x) - \{H(s) + \beta\} > D(s, x)/\theta$ 를 만족하는 경우 $V(s, x)$ 와 $n(s, x)$ 를 계산
 - ㉡ $H(x) - \{H(s) + \beta\} > D(s, x)/\theta$ 와 $H(x) - \{H(s) + \beta\} < \{D(o, s) + D(o, x)\}/\theta$ 를 만족하는 경우 $\xi(s, x)$ 를 계산
 - ㉢ $\xi(s, x)$ 를 작은 순서로 분류
 - $\xi(s, x)$ 가 존재하지 않는 경우 고객 s 를 개별 고객별 운송방식으로 차량을 배정함. 단, 차량은 조건 1과 2를 만족하여야 함. (3)으로 감.
 - 첫 번째 $\xi(s, x)$ 가 고객 x 에 배정후 차량이 터미널로 귀환할 수 있는 근무시간이 남은 경우 고객 x 를 연계운송방식으로 배정함. 이어 (3)으로 감.
 - $\xi(s, x)$ 가 고객 x 에 배정후 차량이 터미널로 귀환할 수 있는 근무시간이 남지 않은 경우 다음 $\xi(s, x)$ 로 감. $\xi(s, x)$ 가 고객 x 에 배정후 차량이 터미널로 귀환할 수 있는 근무시간이 남은 경우 고객 x 를 연계운송방식으로 배정함. 이어 (3)으로 감. 모든 고객 x 가 배정후 차량이 터미널로 귀환할 수 있는 근무시간이

남아 있지 않은 경우 고객 s 를 개별고객별 운송방식으로 차량을 배정하고 (3)으로 감.

2) 전략 3

전략 2와 탈·부착기반 운송방식을 병행하여 적용하는 전략 3에 대한 알고리즘절차는 다음과 같다.

- (1) 터미널, 고객 등이 위치한 존간 운송거리 및 운송시간 행렬표를 작성한다.
- (2) 탈·부착 대상고객집합과 연계운송의 대상고객 집합을 다음과 같이 설정한다.
 - ① π 및 모든 고객에 대해 $D(o,x)$ 를 계산함.
 - ② 모든 고객에 대해 $D(o,x) \leq \pi$ 이면, 고객 x 를 M 에 할당함. 그렇지 않으면, 고객 x 를 N 에 할당함.
 - (3) N 에 할당된 모든 고객에 대해 연계운송방식으로 차량을 배정한다.
 - (4) 탈·부착에 의해 다음과 같이 차량을 배정한다
 - ① M 에 할당된 모든 고객에 대해 $P(s)$ 를 계산하고 이른 시간 순서로 분류함.
 - ② 탈착 또는 부착이 되지 않은 고객에 대해 각 차량별로 탈·부착기반 운송방식에 의해 차량을 배정함. 단, 차량은 다음의 조건을 만족하여야 함.
 - ㉠ 조건 1 : $P(s)$ 보다 일찍 연계터미널에 도착하여야 함
 - ㉡ 조건 2 : 잔여근무시간이 고객 s 를 위한 서비스제공 소요시간보다 커야 함
 - ③ ②에서 화물차량이 조건 1 또는 2를 만족하지 않을 경우 다음의 $P(s)$ 를 선택하고 ①의 과정을 반복함. 조건 1과 2를 만족하는 고객이 없다면 새로운 화물차량을 선택함.
 - (5) 탈·부착기반 운송방식에 의한 차량배정 후 다음 대상고객을 다음과 같이 결정한다.

- ① 고객 x 가 탈착되었을 경우
 - ㉠ 고객 y 가 다음의 조건을 만족하면 $\theta(y)$ 를 계산함
 - 차량에 의해 배정되지 않았어야 함
 - {(고객 y 의 탈착/부착요구시간)-(고객 x 의 탈착시간)-(부착 작업시간)} \geq (고객 x 로부터 고객 y 까지의 수송소요시간)
 - (차량의 근무잔여시간) \geq (고객 $x \rightarrow$ 고객 $y \rightarrow$ 터미널까지의 서비스소요시간)
 - $\theta(y) \leq$ {(고객 x 에서 터미널까지의 수송소요

시간) + (터미널에서 고객 y 까지의 수송소요시간)}

- ㉡ $\theta(y)$ 가 존재하면 $\theta(y)$ 를 작은 순서로 분류함. $\theta(y)$ 가 가장 작은 고객 y 에 대해 부착함. 고객 y 가 배송대상 고객이면 (5)의 ③으로 감. 고객 y 가 집송대상 고객이면 (4)의 ②로 감.
- ㉢ $\theta(y)$ 가 존재하지 않는다면 (4)의 ②로 감.
- ② 고객 x 가 부착되었고 집송대상 고객이면 (4)의 ②로 감.
- ③ 고객 x 가 부착되었고 배송대상 고객이면 다음을 수행함.
 - ㉠ 고객 y 가 다음의 조건을 만족하면 $\theta(y)$ 를 계산함
 - 차량에 의해 탈착되지 않았고 배송대상고객이어야 함
 - {(고객 y 의 탈착/부착요구시간)-(고객 x 의 탈착시간)-(탈착작업시간)} \geq (고객 x 로부터 고객 y 까지의 수송소요시간)
 - (차량의 근무잔여시간) \geq (고객 $x \rightarrow$ 고객 $y \rightarrow$ 터미널까지의 서비스소요시간)
 - $\theta(y) \leq$ {(고객 x 에서 터미널까지의 수송소요시간) + (터미널에서 고객 y 까지의 수송소요시간)}
 - ㉡ $\theta(y)$ 가 존재하면 $\theta(y)$ 를 작은 순서로 분류한다. $\theta(y)$ 가 가장 작은 고객 y 에 대해 탈착함. (4)의 ②로 감.
 - ㉢ $\theta(y)$ 가 존재하지 않는다면 (5)의 ①로 감.

N. 실험 및 평가

1. 테스트문제 설정

테스트문제는 프랑스 철도-공로복합운송회사인 CNC사의 파리남부연계터미널(Valenton)에서 집배송되는 컨테이너물동량과 화물차량을 대상으로 하였다. 실험대상은 Valenton터미널에서 집배송되는 하루 동안의 실제 집배송되는 컨테이너를 대상으로 하였다. 집배송대상의 지역존수는 39개이며, 고객수는 104개이다. 전체 104개 고객중 45개 고객이 집송서비스, 59개 고객이 배송서비스가 요구된다.

컨테이너차량운전자의 근무시간은 10시간, 고객에서

의 컨테이너적재시간 또는 하역작업시간은 120분, 터미널에서의 평균대기시간은 30분, 컨테이너차량의 평균주행속도는 40km로 가정하였다. 화물차운전자와의 운송계약구조는 프랑스에서 통상 이루어지는 계약형태인 1일 기본운임(고정비)+km당운임(변동비)로 가정하였다. 기본운임은 장기운송계약화물차량에 대해 장기계약을 맺게 되면 운송물량에 관계없이 고정적으로 지급되는 운임이다. 반면 km당 운임은 컨테이너운송시 운송거리에 따라 비례하여 지급되는 변동성 운임이다.

시뮬레이션절차는 MS사의 Access를 이용, 비주얼 베이직(Visual Basic)으로 프로그래밍되었다.

2. 전략의 평가 및 비교

시뮬레이션 결과 전략3이 가장 효율적인 것으로 나타났다. 즉, 비용측면에서 전략3은 전략1에 비해 7%, 전략 2에 비해 2.5%의 절감효과를 보였다. 컨테이너 차량당 서비스고객수도 전략3이 2.3고객/대로 전략1의 2.0고객/대, 전략2의 2.1고객/대에 비해 차량당 수송효율이 가장 높게 나타났다. 근무시간대비 대기시간을 제외한 실제근무시간의 비율도 전략 3이 0.857로 전략1의 0.780, 0.807에 비해 높게 나타났다. 반면 전

〈표 1〉 전략별 분석결과 비교

	전략 1	전략 2	전략 3
고객수	104		
소요차량수	52 (100.0)	50 (96.1)	46 (88.5)
차량당 평균서비스고객수	2.0 (100.0)	2.1 (105.0)	2.3 (115.0)
운전자당 평균근무시간	468 (100.0)	484 (103.4)	514 (109.8)
규정근무시간대비 실제근무시간 비율	0.780 (100.0)	0.807 (103.4)	0.857 (109.8)
차량당 평균운송거리	105.2 (100.0)	99.9 (95.0)	147.7 (140.4)
총운송거리대비 적재운송거리 비율	50.0 (100.0)	54.8 (109.6)	40.3 (80.6)
고객당 차량의 평균운송거리	52.6 (100.0)	48.0 (91.3)	65.3 (124.1)
총집배송비용(유로)	11,355.1 (100.0)	10,848.4 (95.5)	10,561.0 (93.0)
고객당 집배송비용(유로)	109.2 (100.0)	104.3 (95.5)	101.5 (93.0)
차량당 평균집배송비용(유로)	218.4 (100.0)	217.0 (99.4)	229.6 (105.1)

1) ()의 수치는 전략 1 대비 비율

체운송거리대비 적재운송거리 비율은 전략3이 예상대로 매우 낮게 나타났다. 즉, 전략 1이 50.0%, 전략 2가 54.8%인 데 비해, 전략3의 경우 40.3% 수준이다. 고객당 필요운송거리도 전략1이 52.6km, 전략 2가 48.0km인 데 비해, 전략3의 경우 65.3km 수준이다. 수송거리관련 효율성만을 본다면 연계수송하는 전략2가 가장 높은 효율을 보이고 있다. 그러나 전체 집배송비용면에서 전략 3이 가장 높은 경쟁력을 보였다. 이유는 전략 3이 거래처에서의 대기시간을 크게 감소하게 하기 때문이다. 이는 거래처의 대기시간 감소분이 수송거리증가분을 크게 상회하는 수준임을 의미한다.

제안된 전략의 특성을 살펴보면, 먼저 전략2는 수송효율, 즉 공차거리를 감소와 수송거리 감소를 통해 집배송 효율성을 제고하는 전략이다. 한계점으로는 전략1과 같이 거래처에서 많은 대기시간(2시간)이 요구된다는 것이다. 또한 연계운송 성공비율이 높으려면 연계운송 대상고객(집송고객)이 배송고객과 균형을 이루어야 하고, 가능하다면 전체적으로 고객수가 많아야 된다는 한계가 있다. 고객수가 많아야 더 효율적이라는 의미는 전략에서 집송대상인 45개 고객중 연계운송된 고객은 58%에 해당되는 26고객이었으나 전략3에서의 연계운송부분에서 대상고객 25고객중 3개 고객(성공율 15%)만이 연계운송되고 있다는 데서 간접적으로 확인된다.

한편 전략3은 앞에서도 언급한 바와 같이 차량대기시간의 절감을 지향하는 전략이다. 이는 탈·부착 운송부분에서 매우 높은 효율을 보이고 있다는 데서도 확인된

〈표 2〉 집배송규모에 따른 전략별 결과 비교

	전략 2	전략 3	
	연계운송	연계운송 부분	탈·부착 운송부분
고객수	104	43	61
연계운송 대상고객수(A)	45	20	-
연계운송에 의한 서비스고객수(B)	26	3	-
연계운송비율 (=A/B×100)	58	15	-
총운송거리대비 적재운송거리 비율	54.8 (100.0)	52.0 (94.9)	25.0 (45.6)
고객당 차량의 평균운송거리	48.0 (100.0)	89.5 (186.5)	48.0 (100.0)
고객당 집배송비용(유로)	104.3 (100.0)	130.0 (124.6)	81.5 (78.1)

1) ()의 수치는 연계운송대비 비율

다. 즉, 고객당 집배송비용은 연계운송부분에서 130.0 유로/고객인 데 비해 탈·부착운송부분에서는 81.5유로/고객으로 많은 비용이 절감된다. 결론적으로 컨테이너 집배송망에서는 대기시간 감소가 가장 중요한 요소임을 알 수 있다.

전략의 개선가능성을 보면 먼저 계약구조에 따라 개선이 가능하다는 것이다. 시물레이션에 적용한 계약구조는 고정비+변동비로 구성되어 있다. 즉 이러한 계약구조는 규정근무시간 대비 실제근무시간비율을 높이는 결과를 가져온다. 예를 들어 규정근무시간대비 실제근무시간비율이 심지어 50%이하인 경우도 발생한다. 예를 들어 전략 2에서 이용된 차량 50대중 4대, 전략3에서는 46대중 5대가 이에 해당된다. 따라서 고정비가 없는 계약구조도 검토할 만하다. 둘째, 탄력적 근무시간(예 : 8-12시간)의 도입을 통해 효율성을 높일 수 있다. 이때 한 주간 총근무시간(예 : 주5일 기준 50시간)을 지켜야 한다. 마지막으로 고객의 요구시간이 아닌 시간대를 적용하면 더욱 현실적인 시물레이션모형이 될 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 2개의 컨테이너집배송전략을 시물레이션절차를 통해 개발, 비교, 평가하였다. 한 전략(전략 2)은 수송거리의 감소를 지향하는 반면 다른 전략(전략 3)은 대기시간 감소를 지향한다. 2개의 개선전략은 기존의 서비스수준을 유지하면서 집배송운영비용을 크게 줄일 수 있음을 확인했다. 전략3의 경우는 기존방법보다 7%, 전략2는 4.5%의 비용절감효과를 가져왔다.

전략 2는 고객의 공간집적도가 낮으면 효율이 감소되는 한계가 있다는 점에서 전략 3이 실제 적용될 수 있는 최적 전략으로 평가된다. 전략3이 가장 높은 효율성을 가진 것은 컨테이너집배송망에서 대기시간이 수송거리보다 더 중요한 요소임을 의미한다. 따라서 컨테이너 집배송망의 경우는 대기시간 감소에 전략적 비중을 더 두어야 한다. 또한 제시된 전략은 차량운전자와의 변동비기준 계약구조, 탄력적 근무시간제 등을 통해 그 효율성을 더욱 제고할 수 있다는 시사점을 제공한다.

본 연구에서 제시한 컨테이너집배송전략이 향후 우리나라에 적용되기 위해서는 우선 선진외국과 같이 철도를 이용하여 door-to-door서비스가 가능한 철도-공로 복합운송업체가 육성되고 철도화물운송시장의 자율경

쟁여건이 필요하다. 현재와 같이 경영이 영세하고 개별화되어 있는 철도소화물운송업체구조에서는 적용되기 어렵기 때문이다. 다만 철도-공로 복합운송에서 집배송부분의 중요도가 상대적으로 높은 우리나라의 경우 집배송개선은 전체 운송서비스 수준을 높이는 데 크게 기여할 가능성이 높아 전략의 적용가능성은 높다하겠다.

이러한 기여에도 불구하고 본 연구는 향후 몇 가지 추가적 연구가 요구된다. 우선 본 연구에서 제시한 전략은 프랑스의 사례에 적용했다는 점에서 최근 철도공사화가 진전되고 그에 따른 철도화물운송사업부분의 경영분리가 논의되는 시점에서 우리나라에의 집배송사례에 적용하는 것이 필요하다. 또한 집배송부분은 터미널 내의 운영시스템, 즉 환적시스템과 밀접한 관련성을 가지고 있다는 점에서 집배송시스템과 환적시스템간의 연계전략의 개발도 모색되어야 할 것이다. 이론적으로도 본 연구가 개선전략에 기반한 휴리스틱방법에 의존하고 있어 최적화모형에 의한 해도출알고리즘의 개발도 향후 연구과제라 할 수 있다.

참고문헌

1. 정승주(2004a), "Hub-and-spoke 운송전략을 고려한 철도화물서비스네트워크디자인모형의 개발", 대한교통학회지, 제22권 제3호, 대한교통학회, pp.167~177.
2. 정승주(2004b), "철도화물서비스를 위한 Hub-and-spoke 운송전략의 적용과 평가: 유럽사례를 중심으로", 한국철도학회논문집, 제7권 제3호, 한국철도학회, pp.264~270.
3. 정승주·문진수(2004), "물류경쟁력 강화를 위한 철도화물운송 활성화 전략", 교통개발연구원.
4. 한국철도기술연구원(2003), "철도물류체계의 경쟁력강화방안".
5. 교통개발연구원(2003), "물류체계 혁신 및 물류경쟁력 강화방안연구".
6. Clake, G. and Wright, J.W.(1964) "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points," *Operational Research*, vol.12, pp.568~581.
7. CEMT(1998), "Rapport sur la situation actuelle du transport combiné en Europe.", Paris, p.172.
8. CNR(1974), "Tarifs pour les transports routiers

- de marchandises", document n° 2.
9. Daskin, M.S.(1985), "Logistics : An overview of the state of the art and perspectives on future research," Transportation Research - A, vol.19A, No.5/6 pp.383~398.
 10. INRETS(coordinator, 2000a), "Intermodal Quality", Project funded by the European Commission, Final report, p.167.
 11. INRETS(coordinator, 2000b), "Intermodal Quality : SIMIQ", Project funded by the European Commission, deliverable 6, p.67.
 12. ITM(1999), "Améliorations de l'offre ferroviaire, evolutions du transport combiné et conséquences sur les termiaux", Paris, p.141.
 13. Jacobsen, A. and Madsen, O.B.G.(1980), "A comparative study of heuristics for a two-level routing-location problem," European Journal of Operational Research, vol.5, pp.378~387.
 14. Madsen, O.B.G.(1983), "Method for solving combined two-level location-routing problems of realistic dimensions," European Journal of Operational Research, vol.12, pp.295~301.
 15. Niérat, P.(1992a), "Air de marché des centres de transbordement rail-route : pertinence de la théorie spatiale," Selected proceedings of the sixth World Conference on transport Research, Let/WCTR'92, pp.2983~2994.
 16. Niérat, P.(1992b), "Transport combiné rail-route : contraintes et performances des dessertes routières", Selected proceedings of the sixth World Conference on transport Research, Let/WCTR'92, pp.2733~2743.
 17. Solomon, M.M.(1987), "Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints," Operations Research, vol.35, No.2, pp.254~265.

✉ 주 작 성 자 : 정승주

✉ 논문투고일 : 2004. 10. 1

논문심사일 : 2005. 2. 13 (1차)

2005. 4. 8 (2차)

심사판정일 : 2005. 4. 8

✉ 반론접수기한 : 2005. 8. 31