

컨테이너 수송차량의 운영계획을 위한 계량적 분석

권인영* · 이광인** · 신재영***

Quantitative Analysis for the Operational Plan of Container Transportation

Kwon, In-Yeong · Lee, Kwang-In · Shin, Jae-Yeong



본 논문에서는 컨테이너 공로 수송의 효율적인 운영 계획을 수립하는 방안에 관하여 연구하였다. 컨테이너 공로 수송을 직접 담당하는 운송업체의 입장에서 차량의 운행경로선정 및 스케줄링 방법들을 본 논문에서는 고찰하고, 효율적인 운영 계획을 위한 계량 모형과 탐색적 해법을 제시하였다. 또한 탐색적 해법의 평가를 위하여 실제 기업을 선정하고, 그 기업에서 수집한 자료를 바탕으로 해법에 적용하고 결과를 분석하였다.

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

최근들어 무역의 증가와 기업의 국제화 추진이 급속히 이루어지면서 국제물류(international logistics)에 대한 관심이 증대되고, 물류문제가 중요한 연구대상으로 자리잡고 있다. 즉 기업들이 세계화, 국제화 및 글로벌라이제이션(globalization) 등을 추진함에 따라, 물품이 해외로 이동하는 공간의 범위가 확대되고 있으며, 세계시장에서 경쟁우위를 점하기 위한 방안으로 물류의 효율화가 등장하게 되었다(한진교통물류연구소, 1996). 또한, 국제물류는 기업뿐만 아니라 국가적 차원에서 경쟁력 확보를 위한 전략적 과제로 다루어지고 있다.

* (주)우대기술단 연구원

** 한국해양대학교 대학원

*** 한국해양대학교 물류시스템공학과 부교수

한편, 현대의 물류활동은 판매물류를 중심으로 한 물적유통(physical distribution)의 개념에서 조달물류, 생산물류까지도 포함한 광의의 물류개념인 로지스틱스(logistics)로 확대되는 추세에 있다. 따라서 국제물류도 원료조달, 생산가공 및 제조, 판매활동 등이 2개국 이상에서 이루어지고, 원료와 완제품 등의 재화가 국경을 초월하여 이동하는 경우를 포함하는 개념에서 이해되어야 한다. 즉, 국제물류를 ‘세계적으로 분산된 생산 및 판매거점들을 효과적으로 네트워크화하여 원재료, 부품, 완제품 등의 흐름을 효율화하고 지속적으로 관리하는 것’으로 규정할 수 있다. 그러나 일반적으로 재화의 이동거리가 멀고 이동시간이 오래 소요될 뿐만 아니라 한 종류 이상의 운송수단을 이용하고 국가별로 관련 인프라 및 제도가 상이하다는 점에서 국내물류와 커다란 차이가 있다. 또한 국내에 비해 긴 리드타임을 보상하기 위해 국제물류 과정에서는 훨씬 더 많은 재고를 포함하게 된다. 따라서 국제물류를 원활하게 수행하기 위해서는 물류전문기업의 역할이 그만큼 중요해지고, 컨테이너의 활용도가 높아지며, 복합일관운송이 다면적으로 전개된다.

이러한 국제물류의 특징들 사이에서도 가장 두드러지는 것은 컨테이너라는 용기를 이용한 복합운송으로, 이는 국제물류의 수행과정에서 수송부문의 비중을 반영하는 것이다. 국제복합운송이란 2개국가간의 물품운송에서 단일 수송계약에 의해 두 종류이상의 수송수단을 이용하여 화물을 수송하는 것이다. 각종 수송수단을 적절하게 연계하여 전체운송을 효율화시키려는 복합운송은 국제물류 활동을 전개하는 과정에서 발생하는 수송기간과 수송비간의 트레이드오프(trade-off)관계를 최소화하기 위한 수송수단 사이의 최적 조합을 실현할 수 있기 때문에 비약적으로 발전하고 있으며, 수송수단간의 환적과 수송의 편의를 위해 컨테이너를 이용한 복합운송이 활발하게 이루어지고 있다.

이러한 국제물류의 과정들 중에서 본 논문은 전체 수송시간과 전체 수송비용 중에서 가장 높은 비중을 차지하는 내륙수송 단계의 효율화에 대해 다루고자 한다. 한편, 대상화물은 복합일관수송에서 가장 광범위하게 사용되고 있는 컨테이너로 하였다. 먼저 컨테이너의 내륙수송방법은 크게 공로, 철도, 해상운송으로 나눌 수 있는데, 부산항을 경유하는 컨테이너 화물에 대해서는 공로수송이 85%를 상회하고 있다. 이러한 상황에서 내륙수송의 효율화를 위한 대안들은 대부분 내륙운송수단의 주류를 차지하는 공로운송 체계의 개선보다는 공로운송 비율의 감소에 비중을 두고 있다. 체중 등으로 공로운송비가 증가하고 있다는 측면에서는 공로수송 비율을 줄이는 것도 중요하지만, 반면 늘어나는 비용만큼 현실적으로 줄어들지 않는 공로수송의 비중을 감안해 볼 때 공로수송을 효율화하는 것이 현실성 있는 대안이라 할 수 있다.

이러한 관점에서 본 논문은 내륙운송체계를 효율화하기 위해 내륙운송 화물의 대부분을 처리하고 있는 공로운송의 운송체계 개선에 초점을 맞추었다. 직접 공로수송을 담당하는 내륙운송업체의 입장에서 차량의 운영실태와 운영계획의 절차 및 방법들을 고찰한 결과, 내륙운송업체의 당면과제는 여러가지 복잡한 상황에서 화주의 운송요구와 자사의 처리능력을 적절히 반영하여 화물의 운송계획을 수립하는 것이었다. 따라서 본 논문은 내륙운송업체의 입장에서 공로를 중심으로 바람직한 차량의 운영계획 수립절차를 제시함으로써 내륙운송 과정뿐만 아니라 국제물류 전과정의 효율

화에 기여하고자 한다.

2. 관련문헌 연구

Pickup and Delivery 문제란 차량이 수송요구화물을 출발지에서 목적지로 중간지점에서의 transshipment 없이 수송하는 방법을 찾는 문제인데, 일반적인 pickup and delivery 문제의 특성은 다음과 같다.

- 차량경로들의 set은 모든 수송요구를 만족하도록 구성된다.
- 보유하고 있는 차량들로 routes를 운영하는 것이 가능하다.
- 각 차량은 용량, 출발지, 도착지를 갖는다.
- 각 수송요구는 수송되어야 하는 화물의 규격, 출발지, 도착지를 설명한다.
- 각 화물은 출발지 set으로부터 도착지 set까지 다른 장소에서의 환적없이 한 차량으로 수송되어야 한다.

한편, 현재까지 광범위하게 연구되고 잘 알려진 아래의 세 가지 Routing문제들은 일반적인 pickup and delivery 문제의 특수한 경우이다(M. W. P. Savelsbergh, M. Sol, 1995).

- Pickup and Delivery Problem(PDP) : 각 수송요구는 단일 출발지와 도착지를 가지며, 모든 차량은 중앙 데포에서 출발하고 또 되돌아온다. 한편, PDP에서 차량에 수송요구를 할당하는 것은 일반적으로 VRP에서 차량에 수송요구를 할당하는 것보다 어렵다. 그것은 VRP에서 수송요구의 모든 발생지는 데포에 있는데 반해, PDP에서는 수송요구의 발생지와 데포가 분리되어 있어 수송요구의 발생지와 목적지가 같은 차량에 할당된다고 가정하는 것이 어렵기 때문이다.
- Dial-a-ride problem(DARP) : 수송되는 화물이 사람으로 나타나는 PDP로 수송요구대신 client나 customer를 사용하고 모든 화물단위는 1이다.
- Vehicle Routing Problem(VRP) : 모든 수송요구의 출발점과 목적지가 데포에 위치되는 PDP이다.

General Pickup and Delivery Problem(GPDP)는 해를 구하는 접근법의 차이에 따라서 static과 dynamic으로 구분된다. 또, 각각이 단일차량과 복수차량 문제로 구분되는데, 단일차량문제에서 모든 수송요구는 한대의 차량으로 수행되며, 복수차량의 문제에서는 수송요구들이 차량단위로 나뉘게 된다.

단일차량에 대한 Pickup and Delivery문제가 가장 많이 연구되었는데, 그것은 dial-a-ride문제가 이 경우에 속할 뿐 아니라 복수차량문제의 subproblem의 형태를 띠기 때문이다. H. Psaraftis(1980)는 가능한 빨리 수송요구에 반응하는 dial-a-ride문제를 연구하였는데, 목적식은 모든 고객이 수송서비스를 받는데 소요되는 시간과 그들이 서비스를 다 받을 때까지 느끼는 불만족의 양을 최소화하는 것이었다. 여기서 고객이 느끼는 불만족은 Pickup되기까지 기다리는 시간과 차위에서 소요되는 시간의 선형합수로 가정하였으며, 전진동적계획 알고리즘으로 해를 구하였다. 또한 H. Psaraftis(1983)

러나 수입 컨테이너는 일단 내품특성, 운임관계, 화주의 운송요구일, 작업상의 특성 등에 따라서 몇 가지로 구분되고, 구분된 그룹에 따라 운송상의 처리방법이 달라지게 된다. 따라서 부산항에서 하역된 후 처리되는 절차를 중심으로 수입 컨테이너들을 구분해 보면 다음과 같다.

- 냉동화물 : 부두내 장치할 경우 장치료가 항외 장치장보다 비싸므로 바로 항외보세장치장으로 반출한다.
- LCL화물 : 주화주(내용물 비중이 높은 화주)가 요구하는 항외 보세장치장으로 반출하거나 부두내 장치장에서 devaning한 후 소화물 상태로 각 항외 보세장치장에 배정한다.
- 부두직통관화물 : 부두 장치장에서 통관 후 화주 문전으로 수송한다.
- 부두보세운송화물 : 화주문전으로 직송한 후 통관한다.
- 의왕 ICD화물 : 철송용 5대 차량으로 철송전용 항외 보세장치장으로 운송한다.
- 인천간이보세 운송화물 : 연안해송을 위해 3부두로 셔틀수송하는 전담차(용역)로 운송한다.
- 자선화물 : Forwarder가 운송사를 결정하여 계약하는 경우로 지정운송사가 전담하여 처리한다.
- CY 경유간이보세 운송(이삿짐)화물 : 40%가 4일 이내에 항외 보세장치장으로 반출되고, 60%가 직반출된다.
- Local화물 : 부산(김해, 양산 포함)이 목적지인 화물을 말하는 것으로 거의 직반출된다. 그러나 작업이 잘 되지 않거나, 기후 조건에 따라 작업이 원활하게 진행되지 않는 화주 창고의 경우, 혹은 운임 지불이 되지 않는 경우 등은 운송경로가 변경된다.
- 보세운송 작업이 원활하지 않은 화물 : 화주에게 문의한 후, 장치기간이 짧으면 부두에 장치하고 길면 CY에 우선 배정한다(생피, 고지, 펄프, 송진, 페인트종류, 아스팔트싱글 등).
- D/G 카고 : 위험물을 다룰 수 있는 창고로 운송한다.

이러한 구분으로 수·출입 컨테이너의 수송담당 부서가 확정되면, 컨테이너의 수송 담당계획 부서로 각 컨테이너에 대한 정보가 전달된다.

(2) 차량의 운영계획 수립

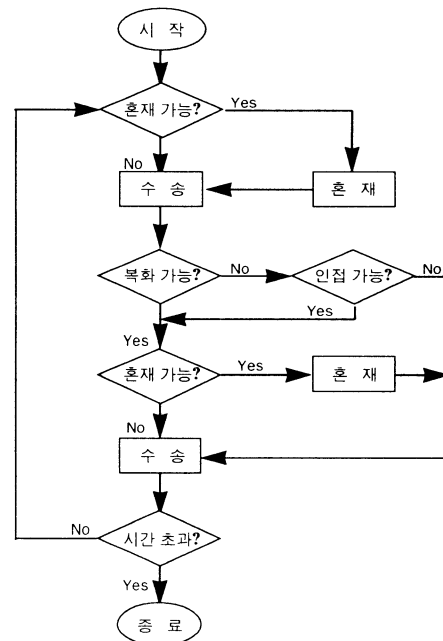
현업 부서의 컨테이너 수송차량의 운영계획 수립 절차를 H사를 중심으로 살펴보면 다음과 같다. H사는 화물수송, 차량운영 및 관리를 담당하는 부서를 장거리와 Local 부서로 구분하여 운영하고 있는데, 장거리 부서에서는 주로 컨테이너의 수송 목적지가 부산시의 지역인 화물을 수송하는 차량을 관리하고 있다. 장거리 차량의 차고지와 차량운영계획 부서가 있는 곳은 수영이다. Local 부서에서는 부두 ↔ 항외보세장치장, 부두 ↔ 연안해송부두, 부두 ↔ 철송지점, 부두 혹은 항외컨테이너 장치장 ↔ 부산시내 화주(양산, 김해 포함) 사이로 운송되는 컨테이너 화물을 주로 처리하고, 장거리 차량의 차고지와는 별도로 수영과 범일에 차고지와 차량의 운영계획부서가 있다. 또한, Local 부서의 경우는 선박의 입항스케줄이나 시내의 체증 등으로 장거리 부서에 비해 계획수립의 상황이 동적

이라고 할 수 있다. 이처럼 H사의 각 차량 운영계획의 수립부서는 각기 다른 수송지역을 담당하고 있지만 그 업무를 자세히 살펴보면 업무의 절차는 비슷함을 알 수 있다.

앞에서 설명한 바와 같이 분류된 컨테이너에 대한 정보(수송요구일, 출발지, 목적지, 크기, 중량, 컨테이너번호, 화주 등)는 수송을 담당할 차량운영계획 부서로 보내진다. 즉, 직반출 컨테이너(Local화물 포함)나 항외 장치장에서 부산 시외의 화주문전으로 수송될 수입 컨테이너와 부산 시외의 화주문전에서 항외장치장이나 부두로 수송될 수출 컨테이너에 관한 정보는 장거리 차량 운영계획부서로 전달된다. 한편 부두에서 항외 장치장, 철송지점, 연안해송지점 등으로 수송되거나, 항외 장치장에서 부산 시내의 화주문전으로 수송될 수입 컨테이너와 그 역방향으로 수송될 수출 컨테이너에 관한 정보는 Local 차량 운영계획부서로 전달된다. 각 차량운영계획 부서에서는 이렇게 도착된 컨테이너의 정보를 바탕으로 화주의 요청과 차량의 일정 등을 고려하여 차량운영계획을 수립하게 된다. 보통 차량운영계획 부서에서는 수송전일에 수송일의 수송계획을 수립하는데, 계획수립시에는 이미 다음날 처리해야할 컨테이너 갯수와 확보 가능한 차량의 수가 결정되어 있다.

컨테이너의 수송계획을 수립하는 목적은 물론 화물의 적시수송 및 자사의 이윤획득을 위한 것이고, 그러한 관점에서 차량 운영계획 부서는 계획 수립시에 수송비용을 줄이기 위해 여러 가지 사항들을 고려하고 있다. 첫째, 용차 수송비용은 자차의 수송비용에 비해 상당히 높은 수준이므로 불가피한 경우가 아니라면 모든 화물을 자차로 수송하도록 계획을 수립한다. 둘째, 40ft화물의 용차비용이 20ft보다는 높고, 자차의 수익률도 40ft가 높으므로, 자차로 모든 화물을 처리하지 못할 경우 용차에 수송을 의뢰하게 되더라도 가능하다면 20ft 컨테이너를 용차에 할당한다. 셋째, 자차의 수송율을 높인다. 즉 한 화물의 수송 후에 공차로 이동하는 것이 아니라, 되돌아올 때 수송할 컨테이너를 수배하여 공차율을 줄이는 것이다. 넷째, 적양하 작업이 신속하게 이루어지지 않는 지점의 화물은 화주의 수송요구일 이전에 근처의 ICD에 수송해 둔 후, ICD의 셔틀차량을 이용하여 화주의 수송요구일에 맞추어 그 지점으로 수송한다. 다섯째, 같은 방향으로 수송될 20ft 컨테이너가 여러개 있다면 개별로 수송하기보다는 혼재하여 수송한다.

이러한 비용적 측면 이외에도 운전원의 작업시간에 관련된 차량의 1일 운행가능시간, 지점별로 소요되는 작업시간, 지점간 운송시간, 혼재시 제약중량 등을 고려하여 차량의 운영계획을 수립한다. 다음의 <그림 1>은 개별차량의 관점에서 운영계획 수립시 고려하는 순서를 표현한 것으로, 컨테이너의 혼



<그림 1> 차량운행계획수립의 절차

재와 복화의 측면을 잘 나타내고 있다.

2) 현실의 문제점 및 개선방안

화물수송 및 차량 운영계획부서에서 운영계획 수립시에 가장 먼저 고려하는 것은 차량의 운영효율 증대 및 공차량 이동량의 감소이다. 이것은 일정기간동안 처리해야 할 화물들을 검토한 후, 화주와의 운송일 조정 등을 통해 복화량을 최대한 증가시킴으로써 가능해진다. 그러나 현재 차량 운영계획부서에서 실제로 운영계획을 수립하는 담당자는 1~2인인데 반해, 각 부서가 하루에 계획을 수립해야 할 차량은 100대, 컨테이너는 100~200개 가량이 되므로 각 부서는 당일의 화물 처리에 매달려 이 부분에 대해서는 별다른 대책을 수립하지 못하는 실정이다. 또한 차량의 운영계획은 주어진 정보를 계량화된 방법으로 분석하여 수립되는 것이 아니라, 운행계획 담당자의 직관에 의해 수립되므로, 운영계획 수립시 고려되지 못하고 간과되는 요소가 존재할 수 있다. 그리고 현재 나뉘어 운영되고 있는 부서들도 실제로는 비슷한 업무를 추진하고 있으므로 많은 량의 차량과 컨테이너에 대한 운영계획을 동시에 수립할 수 있다면 한 부서에서 담당하는 것이 효율적이다. 따라서 계량적인 방법에 의해 운영계획을 수립은 부서의 이분화를 막고, 통합적인 운영계획의 수립이 용이하므로 효과적인 운영계획 수립방법이라 할 수 있다.

한편, 장거리 부서에서 담당하는 화물은 수송지점간의 이동거리와 수송시간이 크므로 단거리 부서에 비해 상대적으로 복화의 중요성이 크다. 따라서 현재 H사는 자사의 운송물량이 많은 지역에 ICD를 설치하여 운행하고 있는데, ICD에서 가까운 지점의 화물들은 화주의 수송요구일 이전에 화물을 수송해두고 ICD의 셔틀차량을 이용하여 화주의 문전까지 수송하고 있다. 이렇게 운영하는 지역에서는 화주의 문전에서 작업하는 시간이 감소되어 차량의 유휴시간을 줄이고, 셔틀차량이 자차의 운송일에 맞추어 미리 수송해 둔 컨테이너를 수송해 올 수 있으므로 공차율도 감소시킬 수 있다. 또한 그 지점에 대한 합리적인 차량 운영계획을 수립할 수 있다. 그러나 현재는 ICD가 설치된 지점의 수가 적고, 지점들 중에서도 컨테이너를 상하차 할 수 있는 장비가 없는 곳이 많아 적극적인 운영계획의 수립에 어려움이 있다. 따라서 하루의 물량만을 고려하는 것이 아니라 일정기간의 물량을 파악한 후, 그 자료를 바탕으로 적절하고 효과적인 컨테이너 수송계획을 수립하기 위해서는 주요 수송지점에 ICD의 수를 늘여 설치하고 장비를 확충하는 것이 필요하다.

또한 경로가 결정되어 담당부서로 컨테이너에 관한 정보가 이동될 때 아직도 서류를 통한 정보 전달이 이루어지므로, 정보의 검색이나 정리가 제대로 이루어지지 못하고 있다. 따라서 전자정보교환 및 관련정보의 전산화 작업이 이루어진다면 정보의 체계적인 관리가 가능해져 계획의 효율성을 높일 수 있다.

2. 가정 및 전제조건

내륙운송업체에서 자사의 운송요구 물량을 적절하게 처리하는 컨테이너의 배차계획을 수립하기

위해서는 계획시점에 대한 수요를 예측하여 미리 적절한 수의 차량이나 인력을 준비하여야 한다. 차차 보유대수가 모자라서 처리할 많은 물량을 용차회사에 주어야 하는 경우나 계획기간의 수요량을 다 처리하고도 차량이 많이 남는 경우는 운송업체의 입장에서 바람직한 경우가 아니므로, 운송회사의 적절한 수요예측은 수송계획 수립을 위한 전제조건이라 할 수 있다.

이처럼 컨테이너의 내륙수송을 전담하는 차량운행 일정계획을 위한 계량적 모형을 수립하기 위해서는 몇 가지 필요한 가정과 전제조건이 있는데 이들을 살펴보면 다음과 같다.

- 다음날의 차량운행 일정계획 수립에 필요한 화물에 대한 기본 정보(화주, 화물의 규격, 톤수, 출발지, 도착지, 수송요구시간 등)는 미리 알고 있다고 가정한다. 이 가정은 본 연구에서 구축하고자 하는 계량적 모형의 상황이 정적(Static)임을 의미한다.
- 본 모형을 적용하는 기간동안 정해진 보유 차량수를 유지하며, 계획기간 물량이 폭주하여도 차량의 추가적인 구매는 이루어지지 않는다고 한다. 즉, 차량의 적정보유수에 대한 평가가 수요예측에 의해 계획기간 이전에 미리 이루어졌으며, 현재 업체에서 보유하고 있는 차량의 수가 최적 보유수라고 가정한다.
- 계획일의 수송수요는 계획일 이전에 알 수 있으며, 반드시 당일(수송요구일 혹은 수송계획일)에 처리되어야 한다.
- 차량은 중앙데포로 반드시 회차한다고 가정한다. 단, 하루만에 왕복이 불가능한 지역의 화물을 수송할 경우 가상의 데포를 두어 그곳으로 회차한다고 가정한다.
- 차량은 반드시 중앙 데포나 가상의 데포에서 출발한다.
- 컨테이너는 모두 특수 컨테이너가 아닌 일반 컨테이너라고 하고, 그 크기는 TEU 단위로 환산하여 20ft를 1로, 40ft는 2로 둔다.

실제 내륙운송업체에서는 작업 시간을 8시간으로 하여 작업계획을 수립한다. 그러나 일반적으로 시간외 작업이 있으므로 여기에서는 차량의 하루일과를 12시간으로 한다. 그리고 그 이외 시간의 작업은 없는 것으로 한다.

3. 모형의 수립

1) 모형의 모수와 변수

먼저 하나의 수송요구는 출발지와 도착지를 가지고 있는데, 본 모형에서는 이들을 출발지와 도착지에 다른 수송수요가 있는 것처럼 분리하여 번호를 부여한다. 이렇게 분리된 각 출발지와 도착지에서 수송요구는 수송해야 할 화물의 크기, 톤수, 그 량은 같으나 출발지에서 (+), 도착지에서 (-) 부호를 갖게 된다.

문제의 모형화에 앞서 모형에서 사용하는 모수들을 정의하면 다음과 같다.

i : 수송요구 $i = 1, 2, \dots, n$

i : 수송요구의 출발지

$n+i$: 수송요구의 도착지

N : 각 수송수요지들의 set $N = \{ 1, 2, \dots, n, n+1, \dots, 2n \}$
 $N^+ = \{ 1, 2, \dots, n \}$, $N^- = \{ n+1, n+2, \dots, 2n \}$
 $N = N^+ \cup N^-$
 \bar{q}_i : i 의 화물크기
 t_i : i 의 화물톤수
 rc_i : i 화물의 용차수송비용

D : 데포들의 set
 $D^+ = \{ 2n+1, 2n+2 \}$, $D^- = \{ 2n+3, 2n+4 \}$
 $(2n+1$: 출발하는 경우의 중앙데포, $2n+2$: 출발하는 경우의 가상데포,
 $2n+3$: 도착하는 경우의 중앙데포, $2n+4$: 도착하는 경우의 가상데포)
 $D = D^+ \cup D^-$

k : 각 차량 $k=1, 2, \dots, m$
 M : 차량의 set $M = RDV \cup IDV$
 Q_k : 각 차량의 최대적재 톤수
 L_k : 각 차량의 1일 최대 운행시간
 RDV : 중앙 데포에서 출발하는 차량의 수
 IDV : 가상 데포에서 출발하는 차량의 수

all $i, j \in N \cup D$ 에 대해서,
 d_{ij} : 수송시간($i \rightarrow j$ 간 이동시간 + i 에서의 작업시간)
 c_{ij} : 자차의 i 위치에서 j 위치까지 수송비용

DT_i : i 화물의 도착요구시간(출발지의 경우에만 존재한다.) $i \in N^+$

본 모형에서 정의하는 결정변수는 다음과 같다.

$$x_{ij}^k \begin{cases} \text{자차 } k \text{가 } i \text{ 위치에서 } j \text{ 위치로 이동하는 경우} & 1 \\ \text{otherwise} & 0 \end{cases} \quad \forall i \neq j \in V \cup D, k \in M$$

$$z_i^k \begin{cases} \text{차량 } k \text{가 } i \text{ 화물을 처리하는 경우} & 1 \\ \text{otherwise} & 0 \end{cases} \quad i \in N^+, k \in K$$

$$y_i \begin{cases} \text{용차로 } i \text{ 수송요구를 처리하는 경우} & 1 \\ \text{otherwise} & 0 \end{cases} \quad i = N^+$$

$$P_i^k : i \text{ 위치에서 } k \text{ 차량의 출발시간} \quad \forall i \in N \cup D, k$$

$$v_i^k : i \text{ 위치 도착시 } k \text{ 차량에 적재된 화물의 무게} \quad \forall i \in N \cup D, k$$

$$w_i^k : i \text{ 위치 도착시 } k \text{ 차량에 적재된 화물의 크기} \quad \forall i \in N \cup D, k$$

2) 모형의 수립

앞에서 정의한 모수와 변수들을 이용하여 문제를 모형화하면 다음과 같다.

Minimize

$$Z = \sum_{i \in N \cup D} \sum_{j \in N \cup D} \sum_{k \in M} c_{ij} \times x_{ij}^k + \sum_{i \in N^+} rc_i \times y_i$$

Subject to

$$\sum_{k \in M} z_i^k + y_i = 1 \quad \forall i \in N^+ \quad (1)$$

$$\sum_{j \in N \cup D} x_{ij}^k = \sum_{j \in M \cup D} x_{ji}^k \quad \forall i \in N, k \in M \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N \cup D} x_{ij}^k = z_i^k \quad \forall i \in N^+, k \in M \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} (x_{2n+1,j}^k + x_{2n+2,j}^k) = 1 \quad \forall k \in M \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} (x_{i,2n+3}^k + x_{i,2n+4}^k) = 1 \quad \forall k \in M \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N \cup D} \sum_{k \in M} x_{i,2n+2,j}^k = IDV \quad (6)$$

$$\sum_{j \in N \cup D} x_{2n+2,j}^k = \sum_{j \in N \cup D} x_{i,2n+3}^k \quad \forall k \in M \quad (7)$$

$$P_d^k = 0 \quad \forall d \in D^+, k \quad (8)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k = 1 \rightarrow P_i^k + d_{ij} \leq P_{n+i}^k \quad \forall i \in N^+, k \in M \quad (9)$$

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow P_i^k + d_{ij} \leq P_j^k \quad \forall i \neq j \in N \cup D, k \in M \quad (10)$$

$$P_d^k \leq DT_i \quad \forall i \in N \cup D^+ \quad (11)$$

$${}_k P_d^k \leq L_k \quad \forall d \in D^-, k \quad (12)$$

$$w_d^k = 0 \quad \forall d \in D^+, k \quad (13)$$

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow w_i^k + s_i \leq w_i^k \quad \forall i \neq j \in N \cup D, k \in M \quad (14)$$

$$w_i^k \leq 2 \quad \forall i \in V \cup D, k \quad (15)$$

$$v_d^k = 0 \quad \forall d \in D^+, k \quad (16)$$

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow v_i^k + t_i \leq v_i^k \quad \forall i \in N \cup D^+, i \in D^-, k \in M \quad (17)$$

$$v_i^k \leq Q_k \quad \forall i \in V \cup D, k \quad (18)$$

$$x_{ij}^k = \{0, 1\} \quad \forall i \neq j \in V \cup D, k \in M \quad (19)$$

$$z_i^k = \{0, 1\} \quad \forall i \in N^+, k \in M \quad (20)$$



4. 탐색적 해법의 수립

본 논문에서 제시하는 탐색적 해법은 Greedy 알고리즘인 Insertion 방법을 이용하여 실행가능경로를 구성하고, 구해진 경로를 Exchange 방법을 이용하여 개선해나간다. 따라서 여기서 제안된 탐색적 방법의 절차도 크게 두단계로 나누어질 수 있는데, 실행가능경로 구성단계와 경로 개선단계가

그것이다.

먼저 실행가능경로 구성단계를 간략히 살펴보기로 한다. 본 논문의 대상업무에서는 출발데포와 도착데포에 따라 세 가지 유형의 경로가 나타날 수 있는데 중앙데포 → 가상데포, 중앙데포 → 중앙데포, 가상데포 → 중앙데포 등의 경로가 그것이다. 실행가능경로 구성단계에서는 첫째, 세 가지 유형의 구성 가능한 경로들 중에서 하나의 화물을 포함하는 최소비용의 초기 가능경로를 구성한다. 둘째, 구성된 초기 가능경로에 삽입 가능한 화물들 중에서 총경로비용을 최소화하는 화물을 선택한다. 셋째, 선택된 화물을 가능경로 상의 적당한 위치에 삽입한다. 초기 가능경로의 총 수송시간이 1일 작업시간을 초과하지 않는 동안 계속 화물을 선택하고 삽입하는 과정을 반복한다. 삽입 가능한 화물이 없으면 생성된 경로를 차량에 할당한다. 모든 차량에 경로가 할당될 때까지 반복하는데, 모든 차량이 할당된 후에도 경로에 삽입되지 못하고 남아있는 화물은 용차에 배정한다. 이렇게 배정된 차량의 경로와 용차에 할당된 화물의 set은 하나의 실행가능해가 된다.

경로 개선단계는 다시 용차와 자차간의 수송요구 교체, 서로 다른 경로상의 수송요구 교체, 동일 경로내의 수송요구 교체의 세단계로 구분된다. 아래의 자세한 절차에서 나타나듯이 이 세 가지 단계는 비슷한 구조로 나타나므로 용차와 자차간의 수송요구 교체를 중심으로 설명하도록 한다. 첫째, 실행가능해를 변형하는 과정에서 총수송비용을 감소시켜 더 나은 경로를 구성한다. 첫째, 용차에 할당된 화물들을 용차비용이 높은 순서로 정렬한다. 둘째, 남은 용차화물 중에서 가장 비용이 높은 화물을 선택한 후, 각 차량의 경로에 있는 화물들과 교체하여 교체가능여부와 총비용의 감소여부를 판단한다. 셋째, 교체 가능한 화물들 중에서 가장 비용감소가 많은 화물의 자리에 용차에 할당되었던 화물을 삽입하고, 교체된 화물은 용차에 할당한다. 넷째, 더이상의 교체 가능한 화물이 없을 때까지 용차에 할당된 화물과 자차에 할당된 화물의 교체를 반복한다. 이상의 탐색적 해법의 절차를 자세히 살펴보면 다음과 같다.

Phase 1. Tour Construction

Step 0 : [초기화]

1. $S = \{\text{모든 수송 요구}\}$
2. 초기 화물배정 차량 $k = 0$
3. k 의 route를 초기화. $R_k = \{ \}$

Step 1 : [초기 Route R_k 를 결정]

1. $k \geq m \rightarrow$ 남은 수송요구 i 를 용차에 배정 \rightarrow Phase 2. Step 4
2. 배정되지 않은 모든 수송요구 $i \in S$ 를 가능한 경로유형에 삽입하여,
 $\min C(i) = C_{d^+ i} + C_{i d^-}$ 를 찾는다.
3. 초기 Route $R_k = \{d^+ - i^+ - i^- - d^-\}$

Step 2 : [수송요구 선택 단계]

1. $S = \phi \rightarrow$ Phase 2. Step 5
2. 배정되지 않은 모든 수송요구 $i \in S$ 에 대하여, 아래의 제약식을 만족하고 비용 증가가 최소가

되는 route R_k 상의 적양하 위치 p^+ 와 p^- 를 결정한다.

< 제약식 검사 >

- 각 지점에서의 차량 용량 제약
- 각 지점에서의 차량 중량 제약
- 각 지점에서의 요구 시간 제약(time window)
- 차량의 최대 운행 시간 제약
- 각 수송요구의 선행관계 제약(pickup이 delivery보다 선행됨)

Step 3 : [수송요구 삽입 단계]

1. 선택된 수송요구가 없는 경우 $\rightarrow k = k + 1$, Step 1
2. 선택된 수송요구 i 를 route R_k 상의 p^+ 와 p^- 에 삽입.
3. $S = S - \{i\} \rightarrow$ Step 2

Phase 2. Tour Improvement

Step 4 : [용차와 자차간의 수송요구 교체]

1. $S = \emptyset \rightarrow$ Step 5
2. 용차에 배정된 수송요구 i 와 모든 Route R_k 상의 수송요구 j 의 교체 가능성과 모든 제약식을 만족하면서 총비용이 감소하는지를 검사.
3. 교체 가능한 i 와 j 가 존재하는 경우 $\rightarrow i$ 와 j 를 교체, Step 4.2
4. 더이상의 교체가 불가능한 경우 $\rightarrow S$ 에 남아 있는 수송요구를 용차로 확정 \rightarrow Step 5

Step 5 : [자차 Route간의 수송요구 교체]

1. i in R_k 와 j in $R_{k'}$ 의 교체 가능성과 모든 제약식을 만족하면서 총비용이 감소하는지를 검사.
2. 교체 가능한 i 와 j 가 존재하는 경우 $\rightarrow i$ 와 j 를 교체, Step 5.1
3. 더이상의 교체가 불가능한 경우 \rightarrow 각 Route R_k 상에 배정된 수송요구를 확정 \rightarrow Step 6

Step 6 : [자차 Route내의 수송요구 처리 순서 교체]

1. i in R_k 와 j in R_k 의 교체 가능성과 모든 제약식을 만족하면서 총비용이 감소하는지를 검사.
2. 교체 가능한 i 와 j 가 존재하는 경우 $\rightarrow i$ 와 j 를 교체, Step 6.1
3. 더이상의 교체가 불가능한 경우 \rightarrow 각 Route R_k 상에 배정된 수송요구의 처리순서를 확정 \rightarrow Step 7

Step 7 : [종료]

알고리즘을 종료.

5. 탐색적 해법의 적용

본 절에서는 현업부서의 실제 운영계획 자료를 이용하여 탐색적 해법의 해를 구하고 실무부서의 운영계획결과와 비교하고자 한다. 그러나 실무부서에서는 정보의 데이터베이스화와 처리과정의 전산화가 이루어지지 않은 상태에서 운영계획을 수립하고 있었으므로, 탐색적 해법의 적용에 필요한 자료를 모두 구할 수는 없었다. 특히 단거리 부서의 경우는 필요한 정보를 정리해 둔 서류조차 구할 수가 없었으므로 장거리 부서에서 정리한 자료를 바탕으로 정리하였다. 그러나 본 논문에서 고려하는

< 표 4 >

차량 운영계획의 결과 비교

(단위 : 대)

	총수송수요	총소요차량	가용차량수 (중앙데포)	용차
실제운영결과	124 개	124	47	22
해법적용시	144 개	98	47	3

* 참고 : 해법적용시에는 시내수송수요 20개를 추가로 수송수요에 포함시켰다.

과를 실제 차량 운행계획 부서에서 수립한 계획과 비교하여 정리해 보면 아래의 표와 같다.

< 표 3 >에 정리된 컨테이너들을 수송하기 위한 운영계획을 수립한 결과 실제 업무에서는 장거리 화물 127개를 수송하기 위한 소요차량을 124대로 산정하였으나 탐색적 해법에서는 147개(서틀지 원물량 20개 포함)의 화물에 대한 소요차량을 98대로 산정하였다. 또한 실제 운영계획에서는 용차가 22대로 배정되었으나 탐색적 해법의 결과에서는 장거리 화물 1개(재송CY → 구미)와 단거리 화물 2개만이 용차에 배정되어 3대의 용차를 사용하였다. 이러한 결과는 작업시간이나 수송시간을 산정하는 방법의 차이에 의한 부분도 일부 포함되었겠지만, 그것보다는 탐색적 해법에서는 실제 업무에서 고려하지 못하는 운행중인 차량에도 화물을 배정한다는 점과 장거리와 단거리의 연계수송이 소요차량 대수를 감소시키는 큰 원인이라고 판단된다. 또한, 탐색적 해법에서 도출된 경로들을 보면, 1~2회의 장거리 화물에 대한 왕복수송 후에는 물량을 배정하지 않는 실제 업무방법에 비해 장거리 수송을 하고 난 후에 시내물량을 처리해 줌으로써 차량의 운영효율이 높게 나타났다.

3) 탐색적 해법의 검토

본 장에서는 실제 장거리 부서와 단거리 부서의 업무를 통합하였을 경우에 탐색적 해법을 이용하여 전체 물량에 대한 운영계획의 수립여부를 검토하기 위하여 임의로 만든 컨테이너 정보를 이용하여 물량의 수를 증가시킬 때 수행시간을 분석해 보았다. H사의 장거리 부서에서는 차차를 115대 보유하고 있으며, 일 평균 컨테이너 처리량은 100개에서 150개 가량이다. 단거리 부서는 차량 63대,

< 표 5 >

탐색적 해법의 수행시간 분석

(단위 : 초)

수송 수요			보유 차량수		자차수	용차수	계산시간(초)	
시 내	시 외	총물량	중앙데포	가상데포			단계1	단계2
25	25	50	9	6	15	8	5	5
50	50	100	18	12	30	16	25	28
75	75	150	27	18	45	22	59	64
100	100	200	36	24	60	21	87	41
125	125	250	45	30	75	29	127	83
150	150	300	54	36	90	34	189	114
175	175	350	63	42	105	41	266	202
200	200	400	72	48	120	47	345	265
225	225	450	81	54	135	53	419	316
250	250	500	90	60	150	56	510	311

물량 200개 가량을 처리한다. 따라서 본 논문에서는 두 부서를 합칠 경우의 물량을 처리할 수 있도록 화물을 50개부터 450개까지 증가시키면서 탐색적 해법의 수행시간을 분석하였다. 그리고 현실을 반영하기 위해 물량에 따라 가용차량의 수를 변화시켰다. 가용차량은 당일 수송수요의 40%로 설정하고, 그 중에서 중앙데포에서 출발하는 차량을 60%, 가상데포에서 출발하는 차량을 40%로 산정하였다. 수행결과를 살펴보면 화물 450개의 경우 378초 가량의 시간이 소요되어 두 부서의 물량을 통합하여 운영하여도 의미있는 시간내에 적절한 운영계획을 수립할 수 있음을 알 수 있다. 분석 결과는 <표 5>와 같다.

Ⅲ. 결 론

현대에는 국제물류가 기업의 마케팅 전략 및 생산 전략의 중요한 요소로 대두되고 있는데, 일반적으로 재화의 이동거리가 멀고 이동시간이 오래 소요될 뿐만 아니라 한 종류 이상의 운송수단을 이용하고 국가별로 관련 인프라 및 제도가 상이하다는 점에서 국내물류와 차이가 있다. 따라서 국제물류를 원활하게 수행하기 위해서는 물류전문기업의 역할이 그만큼 중요해지고, 컨테이너의 활용도가 높아지며, 복합일관운송이 다면적으로 전개된다.

이러한 국제물류의 최적화를 위해서는 수송 전과정의 효율화와 더불어 통합적인 관리가 필요한데, 본 연구에서는 여러 가지 수송과정 중에서 특히 내륙수송, 그 중에서도 컨테이너의 공로수송에 초점을 맞추었다. 그것은 체증 등으로 공로운송비가 계속 증가하고 있음에도 불구하고 공로수송의 비중이 지속적으로 높다는 점을 감안 할 때, 공로수송 부담률을 줄이는 방안과 동시에 공로수송을 효율화하는 것이 적절한 대안이라고 판단되었기 때문이다.

직접 공로수송을 담당하는 운송업체의 입장에서 차량의 운행경로선정 및 스케줄링 방법들을 고찰한 결과, 실무 부서의 차량운영계획은 주로 화주의 요청에 의존하는 수송일에 운송계획인의 직관에 의해 수행되고 있는 것을 알 수 있었다. 또한, 운송되어야 하는 화물의 정보가 데이터베이스화 되어있지 않아 차량의 공차율을 줄이기 위해 수송일을 조정한다는 것이 불가능한 상태였다. 따라서 본 논문에서는 이러한 현실문제들을 감안하여 한가지 대안으로 차량의 운영계획을 계량화하여 경험에 의한 것이 아닌 정확한 계산에 의해 운영계획을 수립하는 방안을 제시하였다. 계량적인 운영계획을 수립하기 위해 본 논문에서 구축한 계량적모형은 Pickup and Delivery문제와 비슷한 구조를 가지고 있어, 문제의 규모가 커질 경우(현실 문제를 고려할 경우)에는 의미있는 시간내에 최적해를 도출하는 데에 어려움이 있었다. 따라서 소규모 문제에 대하여 기존에 존재하는 패키지를 써서 해를 도출하고 모형의 타당성을 검증하였다.

한편 분석된 실제 문제에 응용할 수 있도록 의미있는 시간내에 해를 도출하는 탐색적 알고리즘을 제시하고, H사의 실제업무에 이를 적용하여 결과를 분석하였다. 본 논문에서 제안한 탐색적 기법은 Insertion 방법에 의해 경로를 구성하며, 세단계의 Exchange 방법을 통하여 경로를 개선해 최적해에 근사한 해를 도출하게 되며, 현실상황에서도 도출된 해를 사용할 수 있도록 짧은 시간내에 적절

한 해를 도출하였다. 본 해법을 실무에 적용할 경우, 실제상황에서는 분리되어 운영되는 부서의 업무를 통합하므로써 업무의 효율을 높이고, 계량적인 방법으로 컴퓨터에 의해 운영계획을 수립하게 됨으로써 정확한 운영계획을 제시할 수 있다.

그러나 제안된 해법을 부분적으로 도입할 경우에 동적인 상황에도 적용할 수 있지만, 처음의 가정부터 동적인 상황을 반영한 것은 아니다. 따라서 동적인 상황하에서도 그 상황을 적절히 반영하여 운영계획을 수립하기 위한 연구가 계속적으로 이루어져야 하겠다. 또한, 3장에서 구축한 최적화 모형을 기반으로 하여 최적해를 구할 수 있는 방안에 대한 연구도 계속되어야 한다.

실무적인 측면에서 보면, 현재 H사를 비롯한 내륙운송업체들은 ICD가 설치된 지점의 수가 적고, 지점들 중에서도 컨테이너를 상하차 할 수 있는 장비가 없는 곳이 많아 적극적인 운영계획의 수립에 어려움이 있다. 따라서 하루의 물량만을 고려하는 것이 아니라 일정기간의 물량을 파악한 후, 그 자료를 바탕으로 적절하고 효과적인 컨테이너 수송계획을 수립하기 위해서는 적절한 지점에 ICD의 수를 늘여 설치하고 장비를 확충하는 것이 필요하다. 또한 정보의 전산화는 본 논문의 대상업무뿐만 아니라 물류시스템의 전분야에 걸쳐 필수적인 과제이다.

참고 문헌

- 1) F. H. Cullen, J. J. Jarvis and H. D. Ratliff(1981), "Set Partitioning Based Heuristics for Interactive Routing", *Networks* 11, pp. 125 - 143.
- 2) H. Psaraftis(1980), "A Dynamic Programming Solution to the Single Vehicle Many - to - Many Immediate Request Dial - a - Ride Problem", *Trans. Sci.* 14, pp. 130 - 154.
- 3) H. Psaraftis(1983), "An Exact Algorithm for the Single Vehicle Many - to - Many Dial - a - Ride Problem with Time Windows", *Trans. Sci.* 17, pp. 351 - 357.
- 4) H. Psaraftis(1988), "Dynamic Vehicle Routing Problems", in *Vehicle Routing: Methods and Studies*, B. L. Golden and A. A. Assad (eds.), North - Holland, Amsterdam.
- 5) J. Desrosiers, Y. Dumas and F. Soumis(1986), "A Dynamic Programming Solution of the Large - Scale Single - Vehicle Dial - a - Ride Problem with Time Windows", *Amer. J. Math. Management Sci.* 6, pp. 301 - 325.
- 6) L. F. Frantzeskakis and W. B. Powell(1990), "A Successive Linear Approximation Procedure for Stochastic, Dynamic Vehicle Allocation Problems", *Trans. Sci.* 24, pp. 40 - 57.
- 7) M. W. P. Savelsbergh and M. Sol(1995), "The General Pickup and Delivery Problem", *Trans. Sci.* 29, pp. 17 - 29.
- 8) M. L. Fisher, H. Jiegang and T. BaoXing(1986), "Scheduling Bulk - Pickup - Delivery Vehicles in Shanghai", *Interfaces* 16, pp. 18 - 23.
- 9) M. L. Fisher, H. Jiegang and T. Bao - Xing(1995), "A Network Flow Based Heuristic for Bulk Pickup and Delivery Routing", *Trans. Sci.* 29, pp. 45 - 55.
- 10) T. Sexton and L. Bodin(1985), "Optimizing Single Vehicle Many - to - Many Operations with Desired Delivery Times: I Scheduling", *Trans. Sci.* 19, pp. 378 - 410.

- 11) T. Sexton and L. Bodin(1985), "Optimizing Single Vehicle Many - to - Many Operations with Desired Delivery Times: II Routing", *Trans. Sci.* 19, pp. 411 - 435.
- 12) W. B. Powell(1987), "An Operational Planning Model for the Dynamic Vehicle Allocation Problem with Uncertain Demands", *Trans. Res.* 21B, pp. 217 - 232.
- 13) W. B. Powell(1988), "Maximizing Profits for North American Van Lines' Truckload Division: A New Framework for Pricing and Operations", *Interfaces* 18, pp. 21 - 41.
- 14) W. B. Powell(1988), "A Comparative Review of Alternative Algorithms for the Dynamic Vehicle Allocation Problem", in *Vehicle Routing: Methods and Studies*, B. L. Golden and A. A. Assad (eds.), North - Holland, Amsterdam.
- 15) W. B. Powell(1991), "Optimization Models and Algorithms: An Emerging Technology for the Motor Carrier Industry", *IEEE Trans. Vehicular Tech.* 40, pp. 68 - 80.
- 16) Y. Dumas, J. Desrosiers and F. Soumis(1991), "The Pickup and Delivery Problem with Time Windows", *European J. Oper. Res.* 54, pp. 7 - 22.
- 17) 태동인, 하동우, 김동주(1994), "국제화물유통체계의 합리화 전략", 해운산업연구원.
- 18) 한국컨테이너 부두공단(1996), "컨테이너 화물 취급 및 유통추이 분석".
- 19) 한진교통물류연구소(1996), "교통물류연감".
- 20) 해운산업연구원(1991), "우리나라 수출입화물의 수송체증비용 추정".
- 21) 해운산업연구원(1992), "대량화물유통체계 개선에 관한 연구" 최종보고서.
- 22) 해운산업연구원(1993), "대량화물유통체계 종합개선방안 연구" 최종보고서.
- 23) 해운산업연구원(1993), "물류 EDI Network 기본 설계" 최종보고서.
- 24) 해운항만청(1996), "해운항만통계연보".

