

# 화물 수송 계획 및 운영의 정량적 모형에 대한 조사 연구

김갑환\* · 고창성\*\* · 신재영\*\*\*

## A Review Study on Quantitative Models for Freight Transportation Planning and Operation

Kap-Hwan Kim · Chang-Seong Ko · Jae-Yeong Shin

### 〈Abstract〉

Various problems on logistics systems have been dealt with recently as research issues since they were regarded critical for taking up a better position in the increasingly competitive global market. In particular, the freight transportation is considered as a key factor which affects the economic competitiveness of a whole nation as well as the production cost of individual companies. The objective of this study is to identify main issues and review recent foreign and domestic studies related to the freight transportation. The studies are classified into two categories according to the hierarchical level in the decision making process: infra structure design and transportation strategies, service design and operation. Main issues are introduced with a brief review on the related literature and methodologies applied.

### 1. 서 론

최근 우리나라는 WTO 자유무역체제의 출범 등으로 인한 물리적 국경의 해체, 국제화·개방화 물결에 따른 국제경쟁의 가속화, 후발 개발도상국들의 급격한 추격, 정보기술 및 통신망의 급속한 발달 등의 급변하는 외부 환경 속에서 보다 국제 경쟁력을 확보하기 위한 방법으로 물류에 대한 중요성은 더욱 강조되고 있다.

실제로 경제적인 측면에서 물류가 기업의 경쟁력에 미치는 영향을 살펴보면, 제품의 매출액 대비 물류비가 차지하는 비율이 15-25%에 이를 정도로 상당비율을 차지하고 있어서, 물류비 절감이 직접적으로 제품의 가격 경쟁력을 높이는데 매우 중요한 역할을 한다는 것을 쉽게 인식할 수 있다. 해외 기업

과 비교할 때도 한진교통물류연구원 자료[44]에 의하면 이 비율이 국내기업은 17%, 미국의 경우는 7%, 일본의 경우는 11.3%로 알려져 있어 국내의 물류분야의 개선이 매우 시급함을 알 수 있다.

또 한편으로 물류비가 GNP에 대해 차지하는 비중을 살펴 보더라도 1988년 17.17조원, 1991년에는 23.37조원으로 급증하였으며, 이를 비율로 환산하면 13.6%에서 16.6%로 증가하였다. 이것은 미국이나 일본에 비해 약 2배의 수송 및 하역비가 발생됨을 나타내며, 갈수록 교통체증이 심화되고 있고 그리고 물류관련 기반시설의 미비, 정부 규제 및 물류정책의 비효율성, 물류관련산업의 미성숙등을 감안하면 물류비의 부담은 계속 증대되어 결국은 국내 산업 및 국가 경쟁력 강화에 치명적 장애요인이 될 것이다. 특히 물류비 손실을 가져오는

\* 부산대학교 산업공학과(기계기술연구소)

\*\* 경성대학교 산업공학과

\*\*\* 한국해양대학교 물류시스템공학과

요인 중에서도 도로에서의 정체가 77%로 주요인을 차지하고 있어 이를 개선하기 위한 상당한 노력 즉 기반시설의 확보보다 보다 효율적이고 현대화된 화물 수송시스템의 개발이 강조된다.

또한 이미 시작된 유통 및 물류시장의 개방으로 인해 최신의 장비와 물류관리시스템을 갖춘 외국 물류 관련 기업이 국내의 기업과 비교하여 훨씬 양질의 물류 서비스를 제공하는 현실을 고려할 때, 지금부터라도 국내의 물류분야에 보다 많은 연구와 투자가 이루어져야 할 것이다.

이에 물류분야의 연구에 보다 많은 사람의 관심과 참여를 꾀하고 아울러 물류분야에 오랜 기간동안 종사해왔지만 보다 체계적으로 이 분야의 우수 연구 기법을 습득하고 이를 현장에 적용하기를 희망하는 분들에게 이 분야의 국내·외 연구를 소개하고자 본 연구를 수행하였다. 다만, 해외의 물류분야의 연구 현황은 수송과 직접 연관을 갖는 분야 즉 수송 인프라 설계 및 수송시스템 운영에 초점을 맞추어 최근까지의 주요 연구 현황을 살펴보았으며, 아울러 이에 대응하여 국내에서 수행된 연구 현황도 함께 조사하였다. 여기서, 국내 연구의 경우는 1980년 이후부터 최근까지 대한산업공학회지, 산업공학, 한국경영과학회지, 경영과학, 항만학회지, 교통공학회지의 6 종류의 산업공학/경영과학 분야의 대표적 국내 학술지에 나와 있는 관련 논문을 중심으로 발췌하여 소개하였다. 따라서, 타 학술지에 나와 있는 이 분야의 보다 많은 우수 논문들을 소개하지 못하는 것이 본 연구의 한계라고 할 수 있다.

특히 본 연구를 하역, 보관, 포장, 정보 등의 다른 물류분야보다는 수송분야에 보다 중점을 둔 것은 한국교통물류연구원 자료[44]를 살펴보면, 물류비에서 수송비가 차지하는 비율이 여전히 50%를 상회하고 있는 상황이므로 이 분야를 우선적으로 선정하였다.

개방화 정책에 따라 경쟁력과 선진 경영기술을 갖춘 해외 업체들이 국내 시장을 침투하고 있고, 국내 경쟁업체 간에도 치열한 시장쟁탈 경쟁이 가열되고 있으며, 소비자는 과거보다 양질의 서비스 즉 보다 빠르고, 보다 정확하고, 보다 소비자에 가깝게 제품을 인도해주시기를 요구하고 있는 상황에서, 오늘날 국내 운송업체는 큰 탈바꿈이 없는 존립 자체가 위협을 받는 실정에 와 있다. 따라서, 본 연구에서 소개될 국내·외 여러 연구 기법들은 보다 적은 운영비용으로 보다 나은 서비스를 제공하기 위한 노력의 일환이기 때문에 이를 기반으로 더 많은 연구들이 이루어져 국내 물류관련 업체의 경쟁력 확보에 도움이 될 수 있기를 기대한다.

본 연구에서는 수송분야의 많은 연구를 우선 의사결정의 상황이나 단계에 따라서 계층적으로 나누어 분류하고 각 주제에 대해서 해외 연구와 국내 연구로 구분해서 설명하고자 한다.

첫째는, 수송의 전략적 계획과 연관된 연구로서 장기적이고 대규모 투자를 요하는 의사결정이나 정책에 관련된 사항을 다룬 것으로 주요 시설이나 설비의 입지선정, 수송망 설계 및 수송 수단 선택, 터미널 설계 등의 수송 인프라 설계 문제가 주요 연구 분야가 된다.

다음으로는 수송 시스템의 운영 측면에 관련된 연구를 살펴본다. 이 분야의 연구형태는 전자의 전략적 계획과 비교하면 보다 단기적인 의사결정을 다루는 것들이다. 수송 시스템의 성능을 향상시킬 수 있도록 현재의 자원을 효율적으로 할당하는 문제들이 다루어지는데, 수송서비스망 설계, 차량 경로 문제, 운영 서비스 형태의 선택, 운영 규칙, 작업 할당 등이 주요 연구 과제로 다루어진다. 또한, 즉각적인 의사결정을 필요로 하거나 시간이 의사결정 변수의 하나로서 다루어지는 경우에 해당되는 문제들이 있는데, 서비스 스케줄링, 차량 스케줄링, 승무원 근무계획, 기타 자원의 실시간 할당 문제 등이 여기에 해당된다.

## 2. 수송 인프라 설계 및 전략

수송 인프라 설계 문제를 해결하기 위해서는 우선적으로 지역간 또는 시대 흐름에 따른 수송 환경의 변화에 대하여 장기적인 예측 및 분석이 선행되어야 할 것이다.

첫째로 고려되는 사항은 특정 수송 인프라의 신설 또는 개선, 확장, 폐기 등의 변경사항이 시스템 성능에 어떤 영향을 주는가를 살펴보는 것이다. 이에 대한 전통적 접근방법으로는 비용/효과 분석 또는 투자대안 분석 등의 방법이 많이 활용된다.

다음으로는 지역간 또는 국제간의 수요의 변화가 시스템에 어떤 영향을 주고 있는가를 파악하는 것이다. 즉, 양의 변화, 지역간의 수요 발생 및 분포형태의 변화, 특정 지역이 새로운 경제 중심지로 등장한다든지, 반대로 특정 자원이 고갈된다는 지 하는 상황 그리고 지역간의 제품조합의 변경 등으로 인해 시스템이 어떻게 영향받는가를 파악하는 것도 매우 중요한 사항이 된다.

마지막으로 정부 산업정책의 변화 즉 에너지 가격의 변화, 국가간의 관계 변화, 수송수단의 변화가 시스템에 미치는 영향을 파악하는 것도 매우 중요한 사항이 될 것이다. 이상 언

급된 사항들은 거시적 정책에 관한 것들이 대부분이므로 본 조사연구의 대상에서 벗어난다. 이 장에서는 수송 시스템의 장기적, 전략적 개발을 위한 보다 구체적인 수송 인프라 설계를 위한 수리모형에 대해서 다룬다.

첫째는, 어느 곳에 수송관련 시설 또는 설비를 위치시킬 것인가를 해결하는 입지선정 문제, 다음으로 도로망 또는 철로망 등의 수송의 기초 시설인 수송망을 어떻게 구성할 것인가 등의 수송망 설계문제, 그리고 구체적으로 이를 효율적으로 운영하기 위한 수송수단 선택 문제, 마지막으로 수송의 완충 역할을 담당하는 터미널의 설계 문제 등에 관해서 관련 연구를 살펴보겠다.

### 2.1 입지 선정

입지 선정 문제는 화물 또는 서비스의 공급을 원활히 할 수 있도록 관련 시설 또는 설비를 어디에 위치시킬 것인가를 다룬다. 일반적으로 이 문제는 크게 Covering 모형, Center 모형 및 Median 모형 등으로 나눌 수 있다. 이들은 유사한 성격의 문제들을 다루고 있으나 목적함수의 형태가 조금씩 다르다.

Covering 모형은 일정 거리 내에서 서비스가 가능하도록 특정 설비를 입지시키고자 할 때, 최소 개수의 설비로써 서비스가 가능하도록 설비의 위치를 결정하는 모형이다. 여기에 해당되는 설비로서는 병원, 우체국, 도서관, 학교 등의 공공설비 입지선정 문제가 여기에 해당된다. Center 모형은 서비스 하는 설비로부터 서비스를 받는 수요지까지의 최대 거리를 최소화시킬 수 있도록 설비를 위치시키는 문제로서 위급설비 (Emergency Facilities)의 위치를 결정하는 문제와 같이 서비스 취약지점의 불편을 최소화할 수 있도록 하는 경우에 사용된다.

특히, 수송문제와 직접 연관되는 물류센터 또는 공장 등의 생산/수송 시설의 입지선정에 활용될 수 있는 Median 모형은 총 운송비용을 최소화하는 지점에 입지를 선정하는 문제이다.

예를 들어 특정 기업의 물류센터 입지를 결정하는 문제를 생각해보자. 이 경우 추구하고자 하는 목표는 물류센터와 대리점간의 총 이동거리를 최소화하는 것이므로 Median 모형을 이용할 수 있다. 그러나, "어느 정도 규모로 할 것인가? 각 물류센터는 어느 대리점을 서비스할 것인가? 각 물류센터는 어디에 위치할 것인가?" 등의 복합적인 문제 즉, 복수 설비 입지선정 문제를 해결하고자 할 때는 위치결정 및 할당 (Location-Allocation) 모형으로 문제를 해결해야 할 것이다.

또한, 이 모형은 설비의 용량을 고려하지 않은 모형 (Uncapacitated Plant Location Problem: UPLP)과 설비 용량을 고려한 모형 (Capacitated Plant Location Problem: CPLP)으로 나눌 수 있다. 특히, 현실에 보다 가까운 문제인 CPLP에 대해서는 현재까지도 많은 연구가 이루어지고 있다. Daskin[63]와 Labbe et al.[91] 등은 이 분야의 연구에 대해 전체적인 연구 흐름을 자세히 설명하고 있다. CPLP의 대표적인 연구 형태는 라그랑지 완화법 (Lagrangian Relaxation Method)을 활용하여 CPLP를 UPLP로 변형시킨 후 UPLP의 제 기법을 활용하여 문제를 해결하는 것이 일반적이다. 가장 보편적으로 많이 활용되는 UPLP의 기법으로서 Erlenkotter[68]가 제시한 DUALOC 절차를 들 수 있다.

다음으로는 국내에서 발표된 입지 선정에 관한 기존 연구들을 살펴보자.

차동완 외 2인[41]은 단일 제품이 여러 공장에서 중간창고를 거쳐 소비지에 도착하는 2단계 유통구조에서 용량에 제한이 없는 중간창고의 입지선정을 다룬 문제로 혼합 정수계획법으로 정식화하고, 교차분할법 (Cross Decomposition)을 활용하여 해를 도출하였다. 송재욱·김승권[17]은 동적 UPLP를 해결하기 위해 수리적 모형을 제시하고 라그랑지 완화법을 활용하여 2개의 부분제로 분해하여 근사해를 구하는 해법을 개발하였으며, 계속해서 김승권·김선오[7]는 동적 CPLP에 대해 수리적 모형을 제시하고 교차분할법을 활용한 해법을 개발하였다. 이금숙[30]은 저장 시설 입지 및 화물 수송 체계를 평가하기 위해서 혼합 정수계획법으로 문제를 모형화하였다. 또한 이금숙·강승필[31]은 전국 5개 도시를 대상으로 한 복합 화물 터미널 입지선정 의사결정문제를 혼합정수계획법으로 모형화하였다. 그 외에 정기호 외 2인[39]이 신도시 전화국의 입지선정을 다룬 것으로, 실제 공공설비 입지를 결정할 시에 정량적인 요소 외에 정성적 요소가 의사결정에 중요한 사항이 된다는 사실에 입각하여 다기준 의사결정문제를 퍼지집합론을 활용하여 연구를 수행하였다.

### 2.2 수송망 설계와 수송 수단 선택

일반적으로 수송 시스템을 구분하여 보면, 수송의 출발지와 목적지의 갯수에 따라 우선 구분될 수 있다. 이는 수송의 요구 조건에 따라 달라지는 것이다. 출발지와 목적지가 각각 하나인 경우 (One-to-One), 출발지는 하나인데 목적지가 복수개인 경우 (One-to-Many) (혹은 그 반대의 경우, 출발지나 목적

지가 모두 복수개인 경우 (Many-to-Many)로 나눌 수 있다. 전략적인 수송계획을 수립하는 경우에 결정해야 하는 문제를 살펴보면 수송대상지역을 여러개의 영역으로 분할하는 문제, 수송 수단을 선택하는 문제, 수송망의 설계 문제, 환적 (Transshipment)을 위한 터미널의 갯수, 위치, 그리고 크기를 결정하는 문제등의 의사결정 문제가 있다. 이를 위해서는 수송 수요에 대한 분석과 다양한 수송 시스템의 장단점과 비용분석이 이루어져야 한다. 이에 대하여 Daganzo[62]는 기존의 수리계획적인 접근방식에서 보여주는 상세한 묘사를 대신하여 간단한 연속함수로 표현된 비용함수를 제시하였다. 이들 모형들은 최적해를 구하기 위한 것들이라기 보다는 수송시스템의 요인과 성능간의 관계를 분석하는데 유용하다.

본 절에서는 이상의 수송시스템의 체계적 운영을 위해 수송의 기본 시설이 되는 도로, 철로, 항로 등의 수송망 설계 문제와 이를 기초 자료로 구체적으로 수송업무를 수행하는 운송업체, 기업 또는 공공기관의 물류팀 등이 어떻게 수송 수단을 선택할 것인가에 대해 살펴보겠다.

우선 수송망 설계 문제를 살펴보자. 기본적으로 수송망 설계 문제를 전 절의 입지 선정 문제와 완전히 독립시켜 고려하기는 곤란하다. 예를 들어 철로망을 어떻게 구성할 것인가를 생각하자. 이 경우 화물의 집하 또는 환적 등의 터미널 기능을 담당하게 될 기지를 어디에 건설할 것인가를 직접적으로 고려하여 철로망을 구성하여야 한다. 따라서, 수송망 설계 모형은 입지 선정 모형을 네트워크 이론으로 일반화시킨 것으로 해석할 수 있다.

네트워크 상에서 특정 링크를 선택한다면, 예를 들어 천안-대전 간을 연결 수송망으로 선택한다면, 이의 건설에 관련 고정비용이 일단 부과되며 아울러 이 링크에 부과될 수송량에 따라 변동비용이 비례적으로 부가된다. 이 때 링크에 연결된 노드, 즉 기지 건설에 관련된 고정비용도 추가적으로 부가된다. 따라서, 수송망 설계 문제는 이상의 관련 비용들을 최소화할 수 있도록 네트워크 상에서 용량을 고려하여 적절한 링크를 찾아내는 문제로 볼 수 있다.

가장 단순한 형태의 네트워크 설계 문제는 이미 잘 알려진 최소결집나무문제 (Minimal Spanning Tree Problem)이다. 이 문제에 대한 최적해를 도출한 연구로서는 Kruskal[90]의 알고리즘을 시작으로 최근의 Ahuja et al.[46]의 Greedy 알고리즘을 들 수 있다.

보다 복잡한 형태의 네트워크 설계 문제로는 수송 계획 및 운영 문제를 생각할 수 있다. 즉, 어떤 타입의 수송 수단을 선

택하며 또한 각 수송수단에 대응되는 링크에 어느 정도의 물동량을 부과할 것인가 하는 문제이다. 이에 관한 수학적 정식화에 관해서는 Magnanti & Wong[93]이나 Ahuja et al.[46] 등이 다루었으며, 이를 해결하기 위한 대표적 해법으로는 Balakrishna et al.[49]이 추가-삭제 발견적 기법 (Add-Drop heuristic)을 고려했던 Dual-Ascent 기법을 개발하였다. 이 외에 생산/수송계획 모형으로 Crainic et al.[56]은 수요를 균형화시키는 다품목 입지선정-할당 (Multi-Commodity Location-Allocation) 모형을 제시하고 최선의 로지스틱스 구조를 결정하는 연구를 수행하였다. 특히, 이 문제는 최근의 통신 문제나 생산계획과 연결된 형태 등의 다양한 문제에 응용될 수 있다.

다음으로 수송망 설계 및 수송 수단 선택과 관련하여 수행된 국내 연구를 살펴보자.

성기석 · 박순달[16]은 지하철, 시내버스, 고속버스, 열차등의 수송수단의 운송노선을 결정할 때나 고속도로 또는 철도의 건설을 계획할 때, 연결지점간에 최대 물동량이 흐를 수 있는 경로를 찾을 수 있도록 선형계획 모형을 제시하고 이를 해결하기 위한 근사해법을 개발하였다. 또한 심현택 · 박순달[19]은 중앙공급지에서 중간공급지를 연결하는 계층수송망 설계 문제를 0-1 정수계획법으로 정식화하고 분지한계법을 활용하여 최적해를 구하였다. 수송네트워크에서 화물 수송문제를 해결하지는 않았지만 수도, 석유, 가스 등의 액체나 기체 제품을 공급할 파이프 네트워크 설계 문제를 수리적으로 접근한 연구가 이 문규[32]에 의해 수행되었다.

그리고 생산/수송 문제를 다룬 연구도 일부 나왔으나 해외 연구가 네트워크 설계를 활용한 연구가 많은데 비하여 국내에서는 재고정책과 스케줄링과 연결된 연구가 대부분이다.

노정현 · 임채욱[11]은 국내 정유사의 석유제품 저유 및 수송문제를 선형계획법으로 모형화하고 실제 정유사 자료를 이용하여 모형을 검증하였다. 장유남[38]은 보다 실제적이고 유연성을 갖도록 복수공급원이 있는 DRP (Distribution Requirement Planning) 시스템을 제시하고 이의 예를 설명하였다. 최근에는 안범진 외 2인[20]은 자동차생산업체와 협력업체 간에 JIT 환경 하에 필요 자재의 원활한 공급을 위해 데포 (Depot)를 활용할 때의 생산 및 재고정책, 수송스케줄을 찾는 연구를 수행하였다.

### 2.3 터미널 설계

터미널의 역할은 크게 두 가지를 들 수 있는데, 첫째는 교

환 역할 (Swapping Role)이다. 이는 10개의 화물 출발지와 목적지가 있다고 할 때, 각 출발지에서 직접 각 목적지로 화물을 옮기는 경우에는 100가지의 서로 다른 경로를 취급해야 하지만, 환적을 위한 터미날을 하나 두는 경우에는 출발지에서 터미날까지 10가지 경로, 그리고 터미날에서 목적지까지 10가지의 경로만 취급하면 되므로 수송 비용을 줄이는 효과를 거둘 수 있다. 두번째로는 집화 (Consolidation) 역할인데, 예를 들어 부산에서 서울 경기 지역에 갈 화물을 서울터미날까지 하나의 대형트럭으로 한꺼번에 수송하여 수송비용을 줄일 수 있다는 것이다.

터미날에 관련된 설계 문제는 주로 터미날의 시설능력을 어떻게 추정할 것인가 하는 문제에 집중되어 있다. 이 문제에 관한 종합적이고 수리적인 분석은 Rallis[110]의 자료를 참고로 하는 것이 좋겠다. 그는 항만, 철도 터미날, 공항, 트럭 터미날 등의 다양한 터미날(Transportation Centers)의 시설능력 추정을 위한 계량적인 방법을 제시하였다.

터미날의 하나인 항만에 관련된 설계문제를 다른 연구들을 살펴보면, 주류를 이루는 것들은 항만의 용량 (Capacity)을 추정하는 내용들이다. 용량을 두 가지 측면에서 생각할 수 있는데 하나는 처리 용량의 측면이다. 이는 항만의 기본적인 기능에 관련된 지표이므로 중요하다 할 수 있다. 다른 하나는 터미날의 보관 기능을 생각할 때, 보관 용량을 들 수 있다. 이는 장치장에 관련된 지표가 되겠다.

그 중에서도 선석의 용량에 관한 연구가 많았는데[80,117,96], 이들 연구는 주로 선박의 도착분포를 추정하고 선석에서의 하역 시간을 추정한 후 대기 시간에 대한 분석을 하는 대기행렬 이론을 이용한 접근방식을 취하고 있다. 그 외에도 주된 하역 장비인 컨테이너크레인과 화물 출입구인 게이트 등의 처리능력을 대기행렬 이론으로 접근한 연구 결과도 있다. 이와 관련된 연구 결과들에 대한 조사는 Holguin-Veras[78]에 의해서 최근에 수행된 바가 있다.

장치장에 관련된 보관 용량에 관한 연구는 장치기간에 따른 저장능력의 소요를 추정하는 연구가 주종을 이루었고 저장능력이 저장방식에 따라 영향을 받는다는 사실을 고려하여 상호관계를 규명하려는 노력도 있었다[52]. Roux[116]도 수입장치장의 소요량을 추정하는 분석적인 모델을 제시하였다.

그 다음으로 많이 발표된 접근방식으로는 시물레이션을 이용한 성능 분석에 관한 내용이다. 모델링의 상세한 정도와 분석 내용에는 차이가 있으나 대기행렬 모형에서 보다 더 상세한 설계요소들을 다루고 있다는 점은 공통점이라고 할 수 있

다[111,126]. 설계를 지원하기 위한 시물레이터도 개발되어 사용되고 있는데 독일 ISL (Institute of Shipping Economics and Logistics) 연구소의 SCUSY System이 대표적인 예라고 할 수 있다. 항만계획과 개발에 관한 참고 자료명세는 Manalytics[94]을 참고로 하기 바란다.

다른 형태의 터미날도 유사한 내용과 방법을 적용하고 있다. 철도 수송의 경우는 철도 수송이 가지는 고유한 특성으로 인하여 차량을 분류 (Sorting), 블록화 (Blocking), 결합 (Assembling), 해체 (Disassembling)하는 작업들이 야드에서 이루어지는데 이 작업이 복잡하고 시간이 많이 소요되는 관계로 주된 연구 주제 중의 하나가 되어 왔다. 이 작업에 대한 설명은 Petracek[104]이나 Armstrong[47]을 참고로 하기 바란다. Petersen[102,103]은 위와 같은 작업을 하는 철도 야드에서의 작업지연 현상을 대기이론으로 분석하여 야드 설계의 기초 도구를 마련하였다.

공항에 관한 연구는 크게 나누어 공항 활주로와 게이트, 그리고 청사의 능력과 설계에 관한 연구들이 수행되어 왔다. 이 분야에서도 대기이론과 시물레이션을 이용한 능력 분석이 주된 접근방법이다. 공항의 활주로의 능력에 관한 분석은 Newell[98]이 자세한 분석방법과 결과를 제시하고 있다.

터미날 설계에 관련된 기존의 국내 연구를 살펴보자.

컨테이너터미날의 시스템 사양을 선택하기 위해 시물레이션을 활용한 연구를 들 수 있다. 조덕운[40]은 GASP-4 시물레이션 언어를 활용하여 부산항을 대상으로 연구를 수행하였으며, 박진우·장성용[37]은 SIMAN 언어를 활용하여 비슷한 연구를 수행하였는데, 단일 선석을 가정하여 컨테이너 운영장비의 최적 조합을 찾기 위한 연구를 수행하였다. 그리고 선석과 크레인의 최적 구성 문제를 다룬 윤영철·문성혁[26]의 연구, 시물레이션을 이용한 항만의 하역능력 추정문제를 다룬 김창곤의 논문[9] 등이 있다. 최근에는 윤원영·최용석[27], 윤원영 외 2인[125]에 의해서 컨테이너 터미날의 설계를 위한 객체지향 시물레이터의 개발 사례가 발표되었다.

### 3. 수송계획 및 운영

공장과 배송센터의 입지 선정과 수송망 설계 및 수송수단의 선택과 같은 장기적이고 전략적인 수송 인프라 계획이 이루어지고 나면 이러한 시스템을 운영하기 위한 단기적 계획이 정기적으로 수립되어야 한다. 수송 시스템에서의 운영계획에는 운반 수요를 만족시키기 위하여 특정한 운송수단의 서비스망

을 설계하는 문제, 차량의 배송 경로를 결정하는 차량 경로 결정 계획, 차량 운행 및 승무원 일정계획 등과 같은 일정 운영 계획이 있다. 본 장에서는 이러한 수송 운영 계획에 관한 연구들을 차례로 소개하겠다.

### 3.1 수송 서비스망 설계

철도 수송을 예로 들어 보자. 이에 관한 서비스 설계 문제는 다음과 같은 주제가 주로 다루어져 왔다[84]. 어떤 터미널들 사이에 직행 노선을 제공할 것인가? 특정 노선의 운행빈도는 어느 정도로 할 것인가? 각 개별 차량의 운행경로는 어떻게 지나가게 할 것이고 이 때 철도 차량의 구성은 어떻게 할 것인가? 개별 차량들로 어떻게 블록을 형성하여 이를 이용하여 차량을 어떻게 구성할 것인가? 이 문제의 모델링에 주로 고려되는 비용 항목으로는 차량비용, 차량의 시간비용, 야드에서의 분류비용 등이다. Crainic et al.[57], Cranic & Rousseau [57], Keaton[84, 86]은 이 문제를 정수계획법으로 모형화하였다. Keaton[85]은 철도에 관련된 여러 가지 운영계획과 계획 절차를 설명하고 관련된 비용들을 나열한 다음 이들과 서서비스 수준과의 관계를 분석하였다. Chen & Harker[53]는 위의 모형들에 사용되는 주요한 입력 값 중의 하나인 레일트랙상에서 일정계획에 따라 움직이는 기차의 지연시간을 추정하는 모델을 개발하였다. Jovanovic & Harker[82]은 철도차량의 운행 계획을 작성하는 소프트웨어 개발 사례를 소개하고 있다.

해상 운송 분야에서는 정기선 항로의 설계 문제를 수리 모형화하고 라그랑지 완화법에 기초한 해법을 제시한 연구들 [111,112]이 있다. 부정기선의 경우에도 효율적인 운항 스케줄을 구하기 위한 대화형 최적화 시스템 (Interactive Optimization System)이 Fisher & Rosenwein[69]에 의해 제시된 바 있다. 그 외에도 선박수송 시스템에 대한 몇몇 서비스 설계 문제가 연구되었다[114,51].

국내의 연구로는 양병희 · 이영혜[21]의 연구가 있는데, 이들은 모 가전제품 물류센터의 적절한 배송시스템 구조 및 배송계획을 찾기 위해 시뮬레이션을 활용하였다. 또한 성기석과 박순달[15]은 선박운항 경로 문제를 0-1 혼합정수계획법으로 모형화하고 해법을 제시하였다.

### 3.2 차량 경로 문제(Vehicle Routing Problem: VRP)

차량경로 문제의 가장 기본적인 모형은 수집 또는 배달해야

할 물건이 있는 복수개의 수요처를 하나의 데포 (Depot)로 부터 복수대의 차량을 이용하여 방문하고자 하는 경우, 각 차량을 어떤 경로를 거쳐 오게 할 것인가를 결정하기 위한 것이다. 한정된 지역의 단거리 화물 운송 - 수집, 배달 또는 수집/배달 동시 수행 - 을 위한 차량경로문제 (VRP)는 과거 40년간 계속적으로 많은 연구가 수행되어 오고 있는 분야이다. VRP는 시간적인 요소를 고려하였는가의 여부에 따라 시간적인 요소를 고려하지 않는 협의의 VRP, 시간적인 요소를 고려한 차량 스케줄링 문제 (Vehicle Scheduling Problem), 그리고 운행 경로와 운행 스케줄을 동시에 고려한 문제 (Combined Routing and Scheduling Problem)로 나눌 수 있다. <표 1>은 관련된 문제들에 대한 가정을 비교하여 본 것이다. VRP는 다시 계획 대상 차량의 수가 단수인가 복수인가 여부, 차량이 다 같은 것들인지 아니면 서로 다른 것들이 섞여 있는지 여부, 데포 (Depot)의 수가 하나인지 복수개인지 여부, 수요가 확정적인지 아니면 불확실한지 여부, 차량의 용량에 제약이 있는지 여부, 최장 운행 시간에 대한 제약이 있는지 여부, 수요지에서의 작업의 종류, 방문 가능시간에 대한 제약 여부, 동일 차량에게 한번 이상 순회가 허용되는지 여부등에 따라서 여러가지 모형으로 분류된다.

<표 1> 차량 경로 문제의 분류

모 형	차량 수	데포 수	용량 제약
외판원 문제 (Traveling Salesman Problem; TSP)	단일 차량	단일 데포	제약 없음
복수 외판원 문제 (Multiple TSP)	복수 차량	단일 데포	제약 없음
차량 경로 문제 (Vehicle Routing Problem; VRP)	복수 차량	단일 데포	제약 있음
복수 데포 차량 경로 문제 (Multiple Depot VRP)	복수 차량	복수 데포	제약 있음

VRP의 모형과 해법에 관한 조사 연구들도 많은데, Eilon et al.[66], Bodin et al.[50], Golden & Assad[74] 등의 연구가 여기에 속한다. 이러한 조사 연구를 살펴보면 알 수 있듯이 해법에 관한 매우 많은 연구가 있었음에도 최적해에 관한 연구는 그 수가 적으며, 그 적용 범위 또한 제한적이다. 따라서, 실제 문제에 적용하기 위한 VRP의 해법으로 발견적 해법이 많이 제시되고 있다. VRP에 관한 발견적 해법은 크게 두 부류로 나눌 수 있는데, 방문해야할 지점을 추가해 가면서 새로이

운행 경로를 만들어 나가는 해법 (Tour Construction Heuristic) 과 주어진 운행 경로에서 시작하여 방문 지점들의 운행 순서를 바꾸어서 경로를 개선해 나가는 해법 (Tour Improvement Heuristic)이다. VRP에 발견적 해법을 적용할 경우, 일반적으로 전자의 해법을 사용하여 운행 경로를 하나 만들고 난 뒤, 이 경로를 후자의 해법을 사용하여 개선해 나가는 복합적인 절차를 많이 사용한다. 이 두 부류에 속하는 해법에 관해서 더욱 자세한 내용은 Bodin et al.[50]의 연구를 참조하기 바란다.

많은 발견적 해법 중에서 과거부터 계속 사용되고 있는 전형적인 해법 두 가지만 소개하겠다. 이들 해법은 직관에 의해 알 수 있는 매우 단순한 해법이지만 그 단순함 때문에 실제 문제에 쉽게 적용될 수 있다는 장점을 가진다. 첫째는 Clarke & Wright[55]의 최대단축 (Savings) 해법이고, 다른 하나는 Gillett & Miller[73]의 최인접 각도 (Sweep) 해법이다. 이 두 해법 모두 경로 구축 해법에 속한다.

최대단축 (Savings) 해법은 데포와 한 개의 고객 노드사이를 따로 갔다 오는 경로들을 초기해로 하여 경로길이 단축 효과 (Saving)가 큰 순서대로 두 개의 경로들을 합쳐나가는 해법이다. 다음으로 최인접 각도 (Sweep) 해법은 투입할 수 있는 차량의 대수에 한계가 없고, 직선거리 (Euclidean) 좌표계를 가정할 경우에 적용할 수 있다. 이 방법에서는 차량을 한 대씩 용량이 다 할 때까지 채워가되 최근에 할당된 노드와 가장 작은 각도를 이루면서 아직 할당되지 않은 노드를 선택하여 할당해 나가는 방식이다. 각 차량에 노드들이 다 할당되면 TSP해법을 이용하여 차량별 경로를 결정하는 방식이다.

국내에서도 차량 경로 결정에 관한 연구는 비교적 많이 수행되었다. 박순달 외 2인[13]은 모 제과회사의 대리점 배차 문제를 해결한 연구로서 최대 단축 (Saving) 기법을 개선한 휴리스틱을 적용하였다. 김우제 · 박순달[8]은 각 차고마다 복수 차량을 보유하고 복수 차고를 가지고 있는 운송회사에서 총 운행비용을 최소화하는 최적 차량 경로를 결정하는 수리적 모형을 수립하고 효율적인 분지한계법을 개발하였다. 장병만 · 박순달[36]은 일정 댓수의 공공차량을 가지고 일정지점을 적어도 1회씩은 방문해야 하는 문제를 해결하기 위해 운행비와 고정비의 합을 최소화하는 수리적 모형을 제시하고 분지한계법을 활용한 최적해를 도출하였다. 이규현[29]은 전통적인 차량경로문제를 해결하기 위해 분지한계법을 개선한 알고리즘을 개발하여 큰 문제를 해결하였다. 그리고, 양병희 · 이영해[22]는 다양한 제품을 복수 차종을 사용하여 여러 수요지로 배송하는 문제를 다루었다. 이 연구에서는 비용과 시간을 동시에

절약하는 다목적 최적화 알고리즘을 개발하여 배송경로를 정한 후, 분지한계법을 이용하여 최적 경우 순서를 결정하였다. 노인규 · 예성영[10]은 차량경로 문제의 기본 모형을 해결하기 위해 최대 단축 (Saving) 기법을 개선한 휴리스틱을 개발하여 빠른 시간에 근사해를 찾는 해법을 제시하였다.

### 3.3 수송 시스템의 운영

우선 운영 문제가 전 절의 차량경로문제와 다른 점은 앞의 문제들에서는 경로등을 중장기적인 서비스 설계 측면에서 결정하였던데 반하여 운영 부분에서 다루는 문제는 유사한 문제를 다루고 있지만 실제로 각 차량에 운행을 지시하기 위한 계획이기 때문에 "시간"이라는 요소가 포함되어 있고 실시간으로 의사결정을 하여야 한다는 점이 다르다[59, 62].

예를 들어 차량의 운행경로 문제에 대해서 비교해 보면 전 절에서는 확정된 고객과 운반 수요를 만족시키기 위한 최소비용의 운행경로를 결정하고자 한데 비해서, 운영 수준의 문제에서는 새로운 운반 요구가 계속해서 발생하고 있는 상황에서 현재까지 접수된 주문을 바탕으로 하여 막 임무를 끝낸 차량에 대해서 새로운 임무를 부과하는 의사결정문제를 다룬다. 따라서, 운반요구의 발생도 동적 (Dynamic)이고 미래의 운반 요구 발생도 불확실한 상황이라고 할 수 있다. 이 문제를 배차문제 (Dispatching Problem), 동적 할당 (Dynamic Allocation) 등 여러 가지 이름으로 불리우고 있는데 Powell[106,107], Psaraftis[108] 등을 중심으로 하여 활발한 연구가 이루어지고 있다.

Psaraftis[109]는 이런 문제들이 중요성을 가지게 된다는 무엇보다도 EDI (Electronic Data Interchange), GPS(Global Positioning System), GIS(Geographic Information System), IVHS(Intelligent Vehicle-Highway System)등의 정보기술의 발전에 기인하고 있다고 하였다. 이런 정보기술들이 활용되면 석유제품, 가스 등의 배달, 소포배달 및 수집, 복합화물 운송 등 다양한 분야의 실무에 동적인 의사결정의 적용이 가능하게 되어 효율의 향상이 이루어질 것이라고 내다 보았다.

버스나 기차와 같은 공공 수송시스템에 대해서도 이론 연구 및 실용적인 시스템 개발이 꾸준히 진행되어 왔는데[60], 이 분야에서도 VRP, 차량 스케줄링과 승무원 스케줄링 (Crew Scheduling), 근무계획 (Rostering)에 관련된 기법이 연구되고 있다. 소프트웨어 개발 사례를 비롯한 실용화 성공사례가 많이 발표되고 있다[115]. 차량 스케줄링이란 버스와 같은 차량

의 버스 정류장별 운행 일정계획을 예로 들 수 있고, 승무원 스케줄링 계획이란 일정한 시간의 휴식을 취하면서 적당한 위치에서 승하차를 해 가며 차량을 운행하는 승무원 중심의 계획이라고 할 수 있다. 근무계획이란 근무날짜의 결정과 근무 시간대를 결정하는 것으로서 노조와 합의된 근로조건을 만족시키면서 작업자간의 균등한 부하를 배분하는 것을 주 목적으로 하는 문제이다. 이와 같은 문제에 대한 해법은 승객수송 시스템을 대상으로 한 것도 있지만 화물 수송시스템에도 대부분 적용될 수 있는 기법이 되었다.

그 다음으로 많이 다루어진 문제는 빈 차량과 빈 컨테이너의 관리에 관한 문제들이다. 우선 이 범주에 속하는 대상물을 보면, 철도수송차량, 화물차[95] 컨테이너, 컨테이너를 실을 수 있는 차시 (Chassis)[83], 트레일러 등을 들 수 있다. 비록 대상물은 상이하나 문제의 성격상 접근방법은 유사하다고 할 수 있다. 이 문제에 관련된 접근방식의 변화를 살펴 보면, 재고관리 모델링을 이용한 Philip & Sussman[105]의 연구가 있으며 그들은 단일 터미널 지역에서의 빈 철도차량의 소요를 만족시키기 위한 재고 수준 결정 문제를 다루었다. Hub-and-Spoke 수송망에서 센터와 터미널에서의 빈 차량의 재고수준 최적화 문제를 다룬 Du & Hall[65]의 연구에서도 재고관리 접근 방식을 이용하였다. 여러 개의 터미널을 동시에 고려하여 빈 차량의 배분문제를 다룬 연구는 Misra[97]에 의해서 수송 문제로 모형화하여 제시되었다. 그러나 이 모형은 확정적인 정보를 가정하였는데 이에 반해 Jordan & Tumquist[81]는 미래의 불확실성 - 철도차량의 수요, 철도차량의 공급, 철도차량운행 시간에 있어서의 불확실성 - 을 고려한 모형을 제시하였다. Adamidou & Kornhauser[45]은 빈 화물 철도차량을 재 배분하기 위한 문제를 게임이론을 활용하여 분석하였다. 빈 컨테이너의 수송문제에 관한 대표적 연구는 Crainic[58]을 들 수 있다.

터미널의 운영문제는 공항이 그 중에서도 가장 많이 연구되었다고 할 수 있다. 특히 그 중에서도 항공기 이착륙의 주요 자원인 공항 활주로 할당문제가 자주 다루어져 왔다[75]. Holguin-Vegas[79]는 터미널 운영에 있어서의 정보기술의 적용의 중요성을 강조하면서 각 운송 주체간의 정보시스템의 통합 필요성을 강조하고 EDI기술과 의사결정 논리의 사용, 자동 장비 인식(Automatic Equipment Identification)과 GPS 등의 활용 필요성을 주장하였다.

그 외에도 터미널 운영과 관련된 연구로는 Daganzo[61]는 컨테이너 크레인 일정계획 문제를 다루었으며 Silberholz[121]

는 작업시간 결정규칙이 터미널의 생산성에 미치는 영향을 시뮬레이션으로 분석하였다. Holguin-Vegas[77]는 터미널내의 여러 가지 장비의 작업시간을 간단한 식으로 표현하고 그 식의 타당성을 연구하였다. Kiesling[87]은 컨테이너 터미널의 컨테이너 크레인의 양 · 적하 작업을 분석적인 방법으로 모델링하였다. 그리고 터미널의 운영을 위한 운영시스템의 개발 사례도 발표되었다[76, 67, 124].

수송 시스템 운영과 관련된 국내 연구들은 다음과 같다. 박양병[101]은 확률 수요 가정 하에서 차량의 이동거리 최소화 와 서비스 시간 준수라는 두 가지 목표를 목적함수로 할 때의 차량 스케줄을 찾아내기 위해 목표계획법(Goal Programming)을 활용한 휴리스틱을 제시하였다. 박양병 · 송성헌[14]은 차량 스케줄링 문제에서 구역 및 시간대에 따라 차량 속도가 달라지므로 이를 고려한 평균 차량속도 산정식을 제안하고, 기존 연구의 알고리즘을 변형시킨 기법들을 비교하여 실제 문제에 적용 가능한 기법을 선택하고자 하였다. 컨테이너 수송문제를 대상으로 동적 배차시스템의 개발 사례가 김동희 외 2인[6]에 의해서 발표된 바 있다. 최규석 외 2인[42]은 동적 상황에서 상업용 차량의 순회경로를 유전 알고리즘을 이용하여 탐색하는 알고리즘을 제시하였다. 임용택 · 임강원[34]은 교통혼잡을 고려한 가로망에서의 동적 통행배정모형을 변동부등식(Variational Inequality)으로 구축하고 휴리스틱 대각화 해법(Heuristic Diagonalizing Algorithm)을 이용하여 해를 구하였다.

공로 수송 문제 외에도 장병만과 박순달[36]은 항공기 운항계획과 승무계획을 작성하는 발전적 기법을 제시하였다. 이재석 · 강맹규[2]는 항공사 운항이익을 최대화하는 항공기 운항계획을 수립할 수 있도록 정수계획법으로 정식화하고 이를 현실적인 문제를 해결하기 위해 열 생성(Column Generation) 기법과 분지한계법을 응용한 해법을 개발하였다. 승무원 스케줄링 문제에 대해서는 백관호[99, 100]에 의해서도 발표된 적이 있으나 국내에서는 아직 이 분야의 이론과 실용적인 적용의 양측면에서 그 실적이 모두 미미한 실정이다.

터미널의 운영에 대해서는 컨테이너 터미널에서 선석배정문제를 다룬 이홍걸 · 이철영 [33], 컨테이너의 수급계획 문제를 다룬 오양택 · 신재영[25], 컨테이너 선박의 자동 선석계획(Auto-Stowage Planning) 시스템 개발과 컨테이너 터미널 선적 및 장치계획 시스템 개발 [18,25], 적하계획의 수리모형과 해법문제를 다룬 연구[54, 3, 89], 장치계획문제를 다룬 연구 [4,5], 재취급문제를 다룬 연구[88] 등이 있다.



#### 4. 결 언

본 연구에서는 우리나라의 중요한 현안 문제중의 하나인 화물 수송문제를 대상으로 국내외 연구 현황과 적용 사례를 살펴 보았다. 화물 수송문제를 의사결정 단계에 따라 구분하여 크게 수송 인프라 설계 및 전략 문제와 수송계획 및 운영 문제로 나누어 설명하였다. 수송 인프라 설계 및 전략 문제에서는 도로, 철로, 항로 등의 수송망 설계 문제와 터미널 설계 문제를 대상으로 하였다. 수송계획 및 운영 문제에 포함되는 주제들은 운송회사나 물류 관련 부서에서 수송 서비스망을 계획하고 차량 경로 결정과 배차 등과 같은 수송 업무의 관리에 관련된 내용과 터미널의 운영에 관한 연구들이다. 이론적인 해법보다는 적용분야를 중심으로 설명되었고 철도수송, 트럭 수송, 해운수송, 항공수송 등 수송 수단별로 구분하여 조사하였다.

우선 인프라 설계문제를 살펴 보면 대표적으로 이론적인 연구가 많이 수행된 분야는 고전적인 입지 선정 문제와 수송망 설계 문제이다. 여기에서는 정수계획법을 포함한 수리적 모형의 제시와 분석이 많이 수행되어 왔다. 터미널 설계 문제는 주로 용량 결정을 위한 대기행렬 모형과 시뮬레이션 접근법이 많이 제시되어 왔다. 수송 서비스망 설계 문제와 차량 경로 결정 문제는 가장 많은 분석적 연구가 수행된 분야라고 할 수 있다. 또한 이론적 도구라고 할 수 있는 OR (Operations Research) 분야에서도 가장 성공적으로 기여한 응용 분야라고 할 수 있다. 배차문제는 정보기술의 발달로 움직이는 차량에 대해 실시간 정보전달이 가능해지면서 그 응용성이 인정되어 최근 활발히 연구가 시작되고 있는 분야이다. 실용적인 응용 사례에 대한 발표가 증가하고 있는 추세이다. 터미널에 대한 운영 문제는 그 동안 OR 연구자들에 의해서 상대적으로 소홀하게 취급되어 왔던 분야이다. 그 이유는 그 운영에 대한 노하우가 널리 알려지지 않아 쉽게 접근하기 어려운 측면이 있었기 때문이기도 하다. 그러나 이 분야도 정보기술의 발전에 따라 의사결정의 자동화 문제가 중요한 이슈로 등장하고 있기 때문에 산업공학자들의 기여가 요망되는 분야라고 할 수 있다.

그러나 수송문제는 단순히 수리적인 모형의 적용만으로 해결되는 간단한 문제가 아니다. 공장관리에서 수리모형이 모형화 될 수 있는 일부의 의사결정문제를 해결하는 역할을 하지만 그것이 전부가 아니듯이 수송 문제도 다양한 이론적인 접근이 요구되는 복합적인 특성의 문제라고 할 수 있다. 현재 선

진국에서 수행되고 있는 연구 현황과 비교해 볼 때, 우리나라는 그 연구의 분야 자체가 정립되지도 않았고 연구 인력 그물조차 형성되지도 않은 상태라고 할 수 있다. 본 연구에서는 수리모형의 적용이라는 특수한 측면만을 강조하여 살펴 보았지만 그외에도 산업공학자의 합리적인 접근을 필요로 하는 많은 문제들이 있으며 물류 문제가 국가적으로도 중요한 과제가 되어 있다는 사실을 고려할 때, 앞으로 이 분야에 대한 특별한 관심과 더 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

#### 【참 고 문 헌】

- [1] 광규석·신재영·남기찬, 효율적인 컨테이너 터미널 계획 및 운영을 위한 모형 개발, 건설교통부 연구보고서, 1997.
- [2] 기재석·강맹규, "열 생성 기법에 의한 항공기 운하계획 문제의 최적해법," 대한산업공학회지, 제19권, 제4호, pp. 13-22, 1993.
- [3] 김갑환·김기영·고창성, "컨테이너 터미널에서의 유전자 해법을 이용한 적하계획법," 대한산업공학회지, 제23권, 제4호, pp. 645-660, 1997.
- [4] 김갑환·김홍배·홍봉희·김기영·배종욱·최진오·김두열·이영기·박영만·박강태·손해대, "수출입 컨테이너 장치장 배정을 위한 소프트웨어의 개발," 경영과학, 제12호, 제3호, pp. 1-15, 1995.
- [5] 김갑환·박영만, "무게를 고려한 수출컨테이너의 장치위치 결정법," 대한산업공학회지, 제22권, 제4호, pp. 753-770, 1996.
- [6] 김동희·이창호·김봉선, "컨테이너 화물 수송을 위한 차량 배차 의사결정지원시스템," 대한산업공학회지, 제23권, 제2호, pp. 275-288, 1997.
- [7] 김승권·김선오 "시설용량의 제한이 있는 동적 입지선정 문제를 위한 교차분해 기법의 응용," 한국경영과학회지, 제15권, 제1호, pp. 23-36, 1990.
- [8] 김우제·박순달, "복수차고 복수차종 차량 일정문제의 최적 해법," 한국경영과학회지, 제13권, 제2호, pp. 9-17, 1988.
- [9] 김창곤, "전용부두에서의 화물 유통량을 고려한 하역능력 검토", Ocean Research, 제14권, 제1호, pp. 53-62, 1992.
- [10] 노인규·예성영, "차량경로문제에 대한 발전적 해법," 대한산업공학회지, 제22권, 제3호, pp. 325-336, 1996.

- [11] 노정현 · 임채욱, "XX 정유사의 석유제품 저유 및 수송 정책 평가 모형의 개발," 대한교통학회지, 제11권, 제3호, pp. 49-65, 1993.
- [12] 문상원, "물류의사결정을 위한 계량 모형의 현황과 발전 방향," 경영과학, 제11권, 제2호, pp. 99-131, 1994.
- [13] 박순달 · 송성현 · 조성준, "제품배달 배차문제," 대한산업공학회지, 제10권, 제1호, pp. 47-53, 1984.
- [14] 박양병 · 송성현, "구역 및 시간의존 차량 스케줄링문제: 차량속도 추정모델과 차량스케줄링 해법," 대한산업공학회지, 제22권, 제3호, pp. 517-532, 1996.
- [15] 성기석 · 박순달, "콘테이너 선박 운항경로 문제의 모형화와 해법," 대한산업공학회지, 한국경영과학회지, 제14권, 제2호, pp. 1-18, 1989.
- [16] 성기석 · 박순달, "수송네트워크에서 최대 물동량 경로 문제의 근사해법," 대한산업공학회지, 제16권, 제2호, pp. 91-98, 1990.
- [17] 송재욱 · 김승권, "An Application of Lagrangean Relaxation and Subgradient Method for a Dynamic Uncapacitated Facility Location Problem," 한국경영과학회지, 제13권, 제2호, pp. 47-58, 1988.
- [18] 신재영 · 남기찬, "컨테이너 선박의 자동적재 계획을 위한 지능형 의사결정지원 시스템," 한국항만학회지, 제9권, 제1호, pp. 19-32, 1995.
- [19] 심현택 · 박순달, "유방향 네트워크에서 계층 수송망 설계 문제에 대한 분지한계법," 한국경영과학회지, 제16권, 제2호, pp. 86-102, 1991.
- [20] 안범진 · 와타나베 · 김채복, "A Transportation and Production Model with Depot System," 한국경영과학회지, 제21권, 제2호, pp. 95-109, 1996.
- [21] 양병희 · 이영해, "시물레이션을 이용한 물류 배송계획 시스템 개발에 관한 연구," 산업공학, 제7권, 제2호, pp. 87-97, 1994.
- [22] 양병희 · 이영해, "다목적 최적화를 고려한 배차계획 시스템," 한국경영과학회지, 제19권, 제3호, pp. 63-79, 1994.
- [23] 양한모 · 김병중, "터미널 구역의 수용능력 계산 모형," 대한교통학회지, 제12권, 제3호, pp. 15-27, 1994.
- [24] 오세창, "게이트 및 지체비용의 최소화를 위한 공항 게이트 수 산정 모형 연구," 대한교통학회지, 제15권, 제4호, pp. 113-123, 1997.
- [25] 오양택 · 신재영, "효율적 컨테이너 관리를 위한 계량적 분석," 한국항만학회 95년도 학술발표회 강연 논문집, pp. 10-18, 1995.
- [26] 윤영철 · 문성혁, "컨테이너 터미널 사용자 비용을 최소로 하는 선석과 크레인의 최적 구성에 관한 연구," 한국항만학회지, 제9권, 제2호, pp. 39-49, 1995.
- [27] 윤원영 · 최용석, "자영 컨테이너 장치장의 평가를 위한 시물레이션 모델의 개발," 한국시물레이션학회 논문지, 제6권, 제1호, pp. 109-122, 1997.
- [28] 윤창선 · 최경일, "배송센터 분석과 설계를 위한 공학적 틀," 산업공학, 제8권, 제1호, pp. 61-78, 1995.
- [29] 이규현, "차량경로문제(VRP)의 최적루트 설계를 위한 알고리즘 개발에 관한 연구," 한국경영과학회지, 제19권, 제1호, pp. 153-168, 1994.
- [30] 이금숙, "화물수송체계의 평가와 개선을 위한 다목적 Programming 모델," 대한교통학회지, 제5권, 제1호, pp. 47-58, 1987.
- [31] 이금숙 · 강승필, "복합화물 터미널 입지선정을 위한 수학적 계획 모형의 정립과 적용," 대한교통학회지, 제8권, 제1호, pp. 41-54, 1990.
- [32] 이문규, "Optimal Design of a Branched Pipe Network with Multiple Sources," 대한산업공학회지, 제10권, 제2호, pp. 17-27, 1984.
- [33] 이홍걸 · 이철영, "발견적 알고리즘에 의한 컨테이너 터미널의 선석 배정에 관한 연구," 한국항만학회지, 제9권, 제2호, pp. 1-8, 1995.
- [34] 임용택 · 임강원, "휴리스틱 동적 동행배정모형의 개발에 관한 연구," 대한교통학회지, 제15권, 제2호, pp. 51-66, 1997.
- [35] 장병만, "공공차량 경로문제의 이중 최단나무 결합 해법," 대한산업공학회지, 제14권, 제2호, pp. 53-66, 1990.
- [36] 장병만 · 박순달, "복수 모기지의 항공기 운항계획 및 승무계획 문제의 발견적 기법," 산업공학, 제11권, 제2호, pp. 155-163, 1985.
- [37] 장성용 · 박진우, "시물레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널의 운영시스템 결정," 산업공학, 제1권, 제1호, pp. 49-62, 1988.
- [38] 장윤남, "물류개선을 위한 DRP시스템에 관한 연구-복수 공급원이 있는 물류시스템을 중심으로," 경영과학, 제11권, 제1호, pp. 73-79, 1994.

- [39] 정기호 · 고창성 · 김재교, "퍼지접근법을 이용한 신도시 전화국의 최적 입지선정에 관한 연구," 경영과학, 제9권, 제1호, pp. 93-118, 1992.
- [40] 조덕운, "컨테이너항 전산 모의실험 모형의 개발," 대한산업공학회지, 제11권, 제2호, pp. 173-187, 1985.
- [41] 차동완 · 정기호 · 허원수, "교차분할법을 이용한 2단계 유통체제에서의 중간창고의 입지선정," 한국경영과학회지, 제9권, 제2호, pp. 3-8, 1984.
- [42] 최규석 · 박종진 · 서기성, "진화프로그램을 이용한 상업용 차량의 순회경로 탐색기법," 대한교통학회지, 제15권, 제4호, pp. 125-141, 1997.
- [43] 최상모 · 장병만, "우리 나라 무역. 운송분야 EDI System 도입방안에 관한 연구," 경영과학, 제12권, 제2호, pp. 95-109, 1995.
- [44] 한진교통물류연구원, 교통물류년감, 1996.
- [45] Adamidou, E. A. and Kornhouser, A. L., "A Game Theoretic/Network Equilibrium Solution Approach for the Railroad Freight Car Management Problem", Transportation Research, Vol. 27B, No. 3, pp. 237-252, 1993.
- [46] Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., and Orlin, J. B., Network Flows - Theory, Algorithms, and Applications, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.
- [47] Armstrong, J. H., The Rail - What It Is, What It Does, Simmons-boardman, 1982.
- [48] Assad, A., "Modeling and Implementation Issues in Vehicle Routing", Vehicle routing: Methods and Studies, North-Holland, pp. 7-45, 1988.
- [49] Balakrishnan, A., Magnanti, T. L., and Wong, R. T., "A Dual-Ascent Procedure for Large-Scale Uncapacitated Network Design," Operations Research, Vol. 37, No. 5, pp. 716-740, 1989.
- [50] Bodin, L. D., Golden, B. L., Assad, A. A., and Ball, M. O., "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art," Computers and Operations Research, Vol. 10, No. 2, pp. 63-211, 1983.
- [51] Boffey, T. B., Hinxman, E. A. I., and Pursglove, C. J., "Two Approaches to Scheduling Container Ships with an Application to the North Atlantic Route," Journal of Operational Research Society, Vol. 30, No. 5, pp. 413-425, 1979.
- [52] Castilho, B. J., and Daganzo, C. F., "Handling Strategies for Import Containers at Marine Terminals," Transportation Research, Vol. 27B, No. 2, pp. 151-166, 1993.
- [53] Chen, B., and Harker, P. T., "Two Moments Estimation of the Delay on Single-Track Rail Lines with Scheduled Traffic," Transportation Science, Vol. 24, No. 4, pp. 261-275, 1990.
- [54] Cho, D. W., Development of a Methodology for Containership Load Planning, Ph. D. Thesis, Oregon State University, 1982.
- [55] Clarke, G., and Wright, J. W., "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points," Operations Research, Vol. 12, pp. 568-581, 1964.
- [56] Crainic, T. G., Dejax, P. J., and Delorme, L., "Models for Multimode Multi-commodity Location Problems with Interdepot Balancing Requirements," Annals of Operations Research, Vol. 18, pp. 279-302, 1989.
- [57] Crainic, T. G., Freland, J-A., and Rousseau, J-M., "A Tactical Planning Model for Rail Freight Transportation," Transportation Science, Vol. 18, No. 2, pp. 165-184, 1984.
- [58] Crainic, T. G., Gendreau, M., and Dejax, P. J., "Dynamic Stochastic Models for the Allocation of Empty Containers," Operations Research, Vol. 41, No. 1, pp. 102-126, 1993.
- [59] Crainic, T. G., and Laporte, G., "Planning Models for Freight Transportation," European Journal of Operational Research, Vol. 97, pp. 409-438, 1997.
- [60] Daduna, J. R., Computer-aided Transit Scheduling, Springer-Verlag, 1995.
- [61] Daganzo, C. F., "The Crane Scheduling Problem," Transportation Research, Vol. 23B, No. 3, pp. 159-175, 1989.
- [62] Daganzo, C. F., Logistics Systems Analysis, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 361, Springer-Verlag, Berlin, 1991.
- [63] Daskin, M. S. Networks and Discrete Location, Wiley, New York, NY., 1995.
- [64] Dejax, P. J., and Crainic, D. G., "A Review of Empty Flows and Fleet Management Models in Freight Transportation," Transportation Science, Vol. 21, No. 4, pp. 227-247, 1987.

- [65] Du, Y., and Hall, R., "Fleet Sizing and Empty Equipment Redistribution for Center-Terminal Transportation Networks," Management Science, Vol. 43, No. 2, pp. 145-157, 1997.
- [66] Eilon, S., Watson-Gandy, C. D. T., and Christofides, N., Distribution Management: Mathematical Modelling and Practical Analysis, Griffin, London, 1971.
- [67] Engelhart, T. W., and Radoyske, B. A., "Computer Assisted Terminal Operations Management Systems," Bulk Solids Handling, Vol. 2, No. 3, pp. 421-430, 1982.
- [68] Erlenkotter, D., "A Dual-based Procedure for Uncapacitated Facility Location," Operations Research, Vol. 26, pp. 992-1009, 1978.
- [69] Fisher, M. L., and Rosenwein, M. B., "An Interactive Optimization System for Bulk-Cargo Ship Scheduling," Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 36, pp. 27-42, 1989.
- [70] Florian, M., "An Introduction to Network Models Used in Transportation Planning," in: M. Florian, ed., Transportation Planning Models, North-Holland, Amsterdam, pp. 137-152, 1984.
- [71] Florian, M., "Nonlinear Cost Models Network Models in Transportation Analysis," Mathematical Programming Study, Vol. 26, pp. 167-196, 1986.
- [72] Florian, M., and Hearn, D., "Networks Equilibrium Models and Algorithms," in: M. Ball, T.L. Magnanti, C. L. Monma, and G.L. Nemhauser, eds., Handbooks in Operations Research and Management Science 8. Network Routing, North-Holland, Amsterdam, pp. 485-550, 1995.
- [73] Gillett, B., and Miller, L., "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem," Operations Research, Vol. 22, pp. 340-349, 1974.
- [74] Golden, B. L., and Assad, A. A., eds. Vehicle Routing: Methods and Studies, North-Holland, Amsterdam, 1988.
- [75] Grether, D. M., Isaac, R. M., and Plott, C. R., The Allocation of Scarce Resources Experimental Economics and the Problem of Allocating Airport Slots, Westview Press, 1989.
- [76] Heindel, D. S., "Integrated Control System for a Modern Coal Export Terminal", Bulk Solid Handling, Vol. 4, No. 1, pp. 29-37, 1984.
- [77] Holguin-Veras, J., and Walton, C. M., The Calibration of PRIOR, a Computer System for the Simulation of Port Operations Considering Priorities, Research Report SWUTC/96/721928-1, Center for Transportation Research, The University of Texas, Austin, 1995a.
- [78] Holguin-Veras, J., and Walton, C. M., A Categorized and Annotated Bibliography to the Performance Analysis of Port Operations, Intrim Report SWUTC/95/721912-1, Center for Transportation Research, The University of Texas, Austin, 1995b.
- [79] Holguin-Veras, J., and Walton, C. M., The Role of Information Technology on the Implementation of Priority Systems and the State of the Practice of Information Technology on Marine Container Terminals, Research Report SWUTC/96/721928-3, Center for Transportation Research, The University of Texas, Austin, 1995c.
- [80] Imakita, J., A Techno-Economic Analysis of the Port Transport System, Praeger, N.Y., 1978.
- [81] Jordan, W. C., and Turnquist, M. A., "A Stochastic Dynamic Model for Railroad Car Distribution," Transportation Science, Vol. 17, pp. 123-145, 1983.
- [82] Jovanovic, D., and Harker, P. T., "Tactical Scheduling of Rail Operations: The SCANI System," Transportation Science, Vol. 25, No. 1, pp. 46-64, 1990.
- [83] Justice, E. D., Optimization of Chassis Reallocation in Doublestack Container Transportation Systems, Ph.D. Thesis, University of Arkansas, 1995.
- [84] Keaton, M. H., "Designing Optimal Railroad Operating Plans: Lagrangian Relaxation and Heuristic Approaches," Transportation Research, Vol. 23B, No. 6, pp. 415-431, 1989.
- [85] Keaton, M. H., "Service-cost Tradeoffs for Carload Freight Traffic in the U.S. Rail Industry", Transportation Research, Vol. 25A, No. 6, pp. 363-374, 1991.
- [86] Keaton, M. H., "Designing Railroad Operating Plans: A Dual Adjustment Method for Implementing Lagrangian Relaxation," Transportation Science, Vol. 26, No. 4, pp. 263-279, 1992.
- [87] Kiesling, M. K., and Walton, C. M., Loading/Unloading Operations and Vehicle Queueing Processes at Container

- Ports, Research Report SWUTC/95/60017/71249-2, Center of Transportation Research, The University of Texas, Austin, 1995.
- [88] Kim, K. H., "Evaluation of the Number of Rehandles in Container Yards", Computers and Industrial Engineering, Vol. 32, No. 4, pp. 701-711, 1997a.
- [89] Kim, K. Y., and Kim, K. H., "A Routing Algorithm for a Single Transfer Crane to Load Export Containers onto a Containership", Computers and Industrial Engineering, Vol. 33, No. 3-4, pp. 673-676, 1997b.
- [90] Kruskal, J. B. "On the Shortest Spanning Tree of Graphs and the Travelling Salesman Problem", Proceeding of the American Mathematical Society, Vol. 7, pp. 48-50, 1956.
- [91] Labbe, M., Peeters, D., and Thisse, J.-F., "Location on Networks", in: M. Ball, T.L. Magnanti, C.L. Monma, and G.L. Nemhauser, eds., Handbooks in Operations Research and Management Science 8. Network Routing, North-Holland, Amsterdam, pp. 551-624, 1995.
- [92] Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A. H. G., and Shmoys, D. B., The Traveling Salesman Problem, John Wiley & Sons, 1985.
- [93] Magnanti, T. L., and Wong, R. T., "Network design and transportation planning: Models and algorithms," Transportation Science, Vol. 18, No. 1, pp. 1-55, 1986.
- [94] Manalytics, Inc. Port Planning and Development, A Bibliography, 1976.
- [95] Mendiretta, V. B., and Turnquist, M. A., "A Model for Management of Empty Freight Cars," Transportation Research Record, 838, pp.50-55, 1982.
- [96] Miller, A. J., "Queueing at Single-Berth Shipping Terminal," Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering, Feb., pp. 43-57, 1971.
- [97] Misra, S. C., "Linear Programming of Empty Wagon Disposition," Rail Int., Vol. 3, pp. 151-158, 1972.
- [98] Newell, G. F., "Airport Capacity and Delays," Transportation Science, Vol. 13, No. 3, pp. 210-241, 1979.
- [99] Paek, G. H., "Iterative Time-Constraint Addition Algorithm for the Crew Scheduling Problem", Journal of the Korean OR/MS Society, Vol. 17, No. 3, pp. 159-170, 1992.
- [100] Paek, G. H., "Network Enlarging Search Technique (NEST) for the Crew Scheduling Problem", Journal of the Korean OR/MS Society, Vol. 19, No. 2, pp. 177-198, 1994.
- [101] Park, Y. B., "The Solution of Vehicle Scheduling Problems with Multiple Objectives in a Probabilistic Environment", Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 14, No. 1, pp. 119-131, 1988.
- [102] Petersen, E. R., "Railyard Modeling: Part I. Prediction of Put-Through Time", Transportation Science, Vol. 11, No. 1, pp. 37-49, 1977a.
- [103] Petersen, E. R., "Railyard Modeling: Part II. The Effect of Yard Facilities on Congestion," Transportation Science, Vol. 11, No. 1, pp. 50-59, 1977b.
- [104] Petracet, S. J., Moon, A. E., Kian, R. L., and Siddiquee, M. W., Railroad Classification Yard Technology: A Survey and Assessment, Report FRA-ORD-76-304, U.S. F.R.A., USDOT, 1977.
- [105] Philip, C. E., and Sussman, J. M., "Inventory Model of the Railroad Empty Car Distribution Process", Transportation Research Record, 656, pp. 52-60, 1977.
- [106] Powell, W. B., "A Comparative Review of Alternative Algorithms for the Dynamic Vehicle Allocation Algorithm," Vehicle Routing: Methods and Studies, Ed. by B. L. Golden and A. A. Assad, pp. 249-292, 1988.
- [107] Powell, W. B., Carvalho, T. A., Godfrey, G. A., and Simao, H. P., "Dynamic Fleet Management as a Logisitics Queueing Network," Annals of Operations Research, Vol. 61, pp. 165-188, 1995.
- [108] Psaraftis, H. N., "Dynamic Vehicle Routing Problems", Vehicle Routing: Methods and Studies, Ed. by B.L. Golden and A.A. Assad, 1988.
- [109] Psaraftis, H. N., "Dynamic Vehicle Routing: Status and Prospects," Annals of Operations Research, Vol. 61, pp. 143-164, 1995.
- [110] Rallis, T., Capacity of Transport Centers, Copenhagen, 1967.
- [111] Ramos, C. M., and Goodwin, "Simulation of Harbour Facilities," Bulk Solid Handling, Vol. 9, No. 2, pp. 135-143, 1989.
- [112] Rana, K., and Vickson, R. G., "A Model and Solution Algorithm for Optimal Routing of a Time-Chartered Containership," Transportation Science, Vol. 22, No. 2,

pp. 217-232, 1987.

[113] Rana, K., and Vickson, R. G., "Routing Container Ships Using Lagrangean Relaxation and Decomposition," Transportation Science, Vol. 25, No. 3, pp. 201-214, 1991.

[114] Rooda, J. E., and Van der Schilden, N., "Simulation of Maritime Transport and Distribution by Sea-going Barges: An Application of Multiple Regression Analysis and Factor Screening," Bulk Solid Handling, Vol. 2, No. 4, pp. 813-824, 1982.

[115] Rousseau, J. M. ed., Computer Scheduling of Public Transport 2, North-Holland, 1985.

[116] Roux, E. D., Storage Capacity for Import Containers at Seaports, Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley, 1996.

[117] Sabria, F., Analysis of Potential Improvements in Port Operations, Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley, 1986.

[118] Sheahan, D., and Dougall, S., Effective Truck Terminal Planning and Operation, The Operation Council of American Trucking Association, Inc., 1980.

[119] Sheffi, Y., Urban Transportation Network. Equilibrium Analysis with Mathematical Programming, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1985.

[120] Shen, Y., Potvin, J-Y., Rousseau, J-M., and Roy, S., "A Computer Assistant for Vehicle Dispatching with Learning Capabilities", Annals of Operations Research, Vol. 61, pp. 189-211, 1995.

[121] Silberholz, M. B., Golden, B. L., and Baker, E. K., "Using Simulation to Study the Impact of Work Rules on Productivity at Marine Container Terminals", Computers & Operations Research, Vol. 18, No. 5, pp. 433-452, 1991.

[122] Transportation Research Board, Airport Operations, Transportation Research Record 1025, 1985.

[123] United Nations Conference on Trade and Development, Berth Throughput: Systematic Methods for Improving General Cargo Operations, 1972.

[124] van Hee, K. M., and Wijbrands, R. J. "Decision Support System for Container Terminal Planning", European Journal of Operational Research, Vol. 34, pp. 262-272,

1988.

[125] Yun, W. Y., Choi, Y. S., and Seo, J. H., "Development of an Object-Oriented Simulation System for the Operation and Planning of Port Container-Terminal," Proc. of the 14th International Conference on Production Research, Osaka (Japan), pp. 774-777, 1997.

[126] Zador, A. T. "Computer Simulation for Port Design," Bulk Solid Handling, Vol. 4, No. 1, pp. 23-27, 1984.



김갑환  
1977년 서울대학교 산업공학과 학사  
1987년 한국과학기술원에서 공학 석사, 공학박사  
현 재 부산대학교 산업공학과 교수  
관심분야 물류관리, 생산관리



고창성  
1983년 서울대학교 산업공학과 학사  
1985년 한국과학기술원 산업공학과 석사  
1990년 한국과학기술원 산업공학과 박사  
현 재 경성대학교 산업공학과 부교수  
관심분야 물류관리, 생산시스템 설계



신재영  
1983년 서울대학교 경영학과 졸업  
1985년 한국과학기술원 경영과학 공학석사  
1991년 한국과학기술원 경영과학 박사  
현 재 한국해양대학교 물류시스템공학과 부교수  
관심분야 물류정보시스템, 전문가 시스템, 의사결정지원시스템, OR 등