

자동차 운반선사의 해상운송계획 지원 시스템 개발*

정재운, 최형림, 김현수, 박병주

동아대학교 경영대학 경영정보학과

부산광역시 사하구 하단2동 840

Tel: +82-51-200-7478, Fax: +82-51-200-2827

E-mail: share@donga.ac.kr, {hrchoi, hskim, a967500}@dau.ac.kr

Abstract

국제 물동량의 증가로 인한 해상운송의 활성화는 시장 참여자들의 경쟁 심화로 이어지고 있다. 따라서 해상운송의 효율성 향상을 통한 경쟁력 강화의 필요성이 높아지고 있다. 특히 한국의 경우에는 자동차 수출입 물동량의 증가로 인한 자동차 운반선사(Car Carriers)의 효율적인 운송계획의 중요성이 강조되고 있다. 이에 본 연구에서는 자동차 운반선의 현황분석을 통한 운송계획의 문제점을 분석하고, 이를 해결할 수 있는 자동차 운반선 해상운송계획 지원 시스템을 개발한다. 이는 자동차 운반선에 관한 해상운송계획 과정을 체계화함으로써 계획의 수립 속도 및 질적 수준을 향상시키고, 계획의 체계적인 관리(수정, 변경 등)를 가능케 함으로써 사용자가 보다 나은 의사결정을 내릴 수 있도록 하기 위함이다. 한편 자동차 운반선의 해상운송계획 과정에서 해상운송과 자동차 화물의 특성에 의해 발생하는 다양한 예외상황들을 고려할 수 있도록 하기 위해 IP(Integer Programming) 모형을 사용하여 이익을 최대로 하는 또는 비용을 최소로 하는 최적의 안을 생성하고, 계획 수립 이후에 발생하는 변경사항들을 실무자가 효율적으로 수정할 수 있도록 해상운송계획 지원 시스템을 개발한다.

Keywords:

자동차 운반선, 해상운송계획 지원 시스템

1. 서론

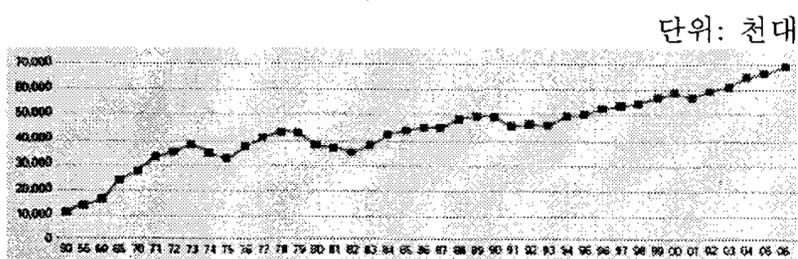
1947년부터 2005년까지 해상운송에 의해 처리되는 물동량은 연평균 4.8%, 금액으로는 9.5% 성장해왔다. 또한 2005년도 현재의 물동량은 약 66.6억 톤(약 \$5조)에 이르는 것으로 나타났다[18]. 이 같은 해상운송 시장의 성장세는 시장에서의 비교우위를 점하기 위한 참여자들의 경쟁 심화로 이어지고 있다. 현업의 효율적인 해상운송을 위해 다양한 연구들이 진행되고 있지만, 해상운송이라는 영역이 넓고 다양하기 때문에 상대적으로 비중이 적은 자동차 운반선(Car Carrier)의 분야에 대해서는 연구가 거의 이루어지지 않고 있다. 자동차 수출 물류비에서 자동차 운반선의 해상운송 비용이 전체 비중의 80% 이상을 차지함[13]에 따라 자동차 물류비의 절감 차원에서 자동차 운반선사의 효율적인 운송계획이 필요하다. 하지만 국내 자동차 운반선사의 경우는 기업의 전통적 경험과 실무자의 노하우에 의존하여 해상운송계획을 수립함으로써 계획의 수립, 평가, 관리 등이 취약하며, 선사의 수익성보다 화주의 물량 처리(수송) 중심으로 계획이 진행됨으로써 수익성 개선의 필요성이 제기되고 있다. 이에 본 논문에서는 자동차 운반선사의 수작업 기반의 계획방식을 체계적이고 자동화된 업무 흐름으로 전환함과 동시에 최대 이익(혹은 최소 비용)을 발생시키는 최적의 해상운송 계획안을 제공하고, 이후 변경된 자료를 반영하여 사용자가 계획의 내용을 재조정할 수 있도록 하는 자동차 운반선 해상운송계획 지원 시스템을 개발하고자 한다.

* 이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(지방연구중심대학육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

2. 자동차 운반선사의 해상운송계획 문제

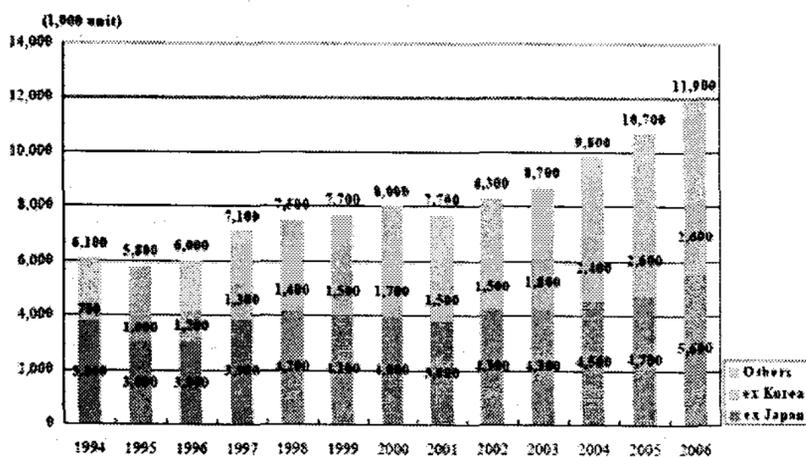
2.1 자동차 운반선사의 현황

자동차 운반선사의 시장은 자동차 제조업체의 해외 수출입 시장과 밀접한 관계를 맺고 있다. 1950년부터 2006년까지 세계 자동차 생산량에 대한 추이를 나타낸 [그림 1]을 보면 그 동안 자동차 산업이 지속적인 성장세를 유지해왔음을 확인할 수 있다. 이러한 추세를 반영하여 자동차 운반선사도 그 동안 자동차 운반선의 대형화를 통해 자동차 수출입 물동량에 대한 처리 능력을 향상시켜왔다[4].



[그림 1] 세계 자동차 생산량 추이 [14]

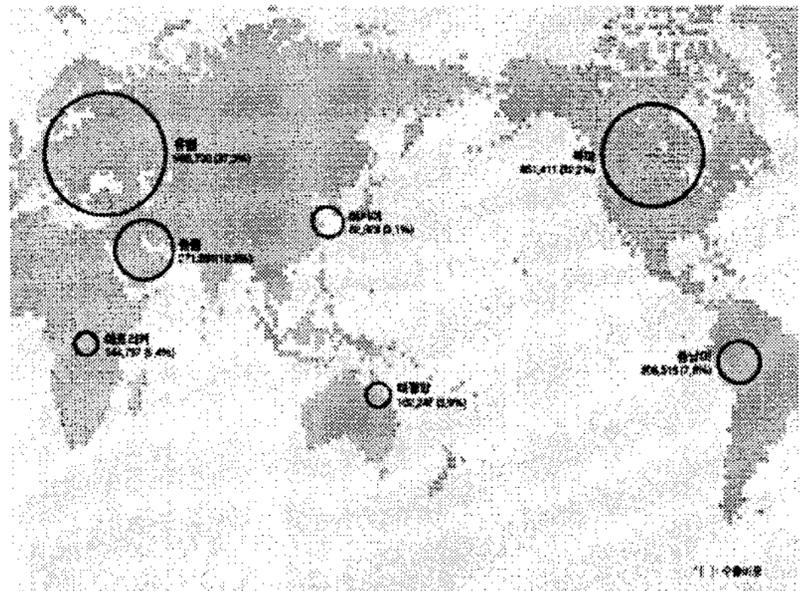
[그림 2]는 1994년부터 2006년까지 수출된 세계 자동차 물량에 관한 자료이다. 이를 보면 자동차 수출 물동량 역시 자동차 생산 추이와 함께 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 한편 전세계 자동차 수출량의 대부분이 일본(50%이상), 한국(20%이상)에서 수출되고 있음을 알 수 있다. 이는 자동차 운반선의 해상 운송 출발 거점이 일본, 한국을 포함한 아시아 지역임을 보여준다.



[그림 2] 세계 자동차 수출현황 [18]

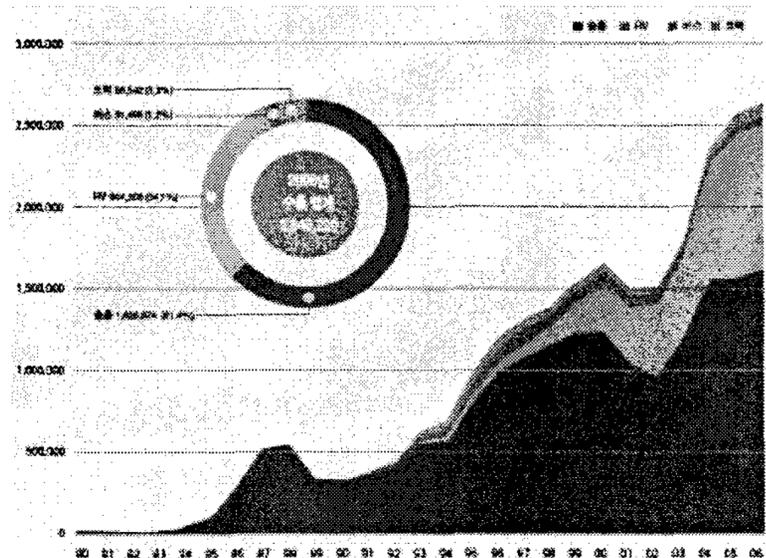
한편 2006년도 기준으로 연간 약 11,900천대의 자동차를 수송하는 자동차운반선 해상운송시장이 형성되어 있다.

[그림3]은 국내 자동차 업계의 해외 수출 시장의 분포(2006년 기준)를 나타내고 있다. 한국 자동차의 주요 수출지역은 유럽(37.3%), 북미(32.2%), 중동(10.3%), 중남미(7.8%) 순이다.



[그림 3] 국내 자동차업계의 해외 수출지역분포 [14]

국내의 해외 수출 차종에 대한 분석자료([그림 4])를 살펴보면 레저 및 다목적 용도의 RV (Recreational Vehicle) 모델의 비중이 증가하고 있다. 이러한 변화에 대응하여 자동차 운반선도 중대형 차량의 수급에 균형을 맞출 수 있도록 PCC(Pure Car Carrier: 승용차 전용선)에서 PCTC(Pure Car and Truck Carrier: 승용차 및 중대형차량의 선적이 가능한 선박) 유형으로 선박을 보유, 운영하고 있다. 또한 Wallenius Line과 Wilhelmsen Lines의 합작을 통해 WWL(Wallenius Wilhelmsen Lines)을 설립한 사례처럼 인수, 합병 등을 통한 선사의 대형화로 경쟁력을 강화하고 있는 추세이다[4].



[그림 4] 차종별 자동차 수출 추이 [14]

자동차 운반선사는 현재 전세계 30여 개가 있으며, 주요 선사로는 MOL, HOEGH, EUKOR, K-LINE, NYK, WWL 등이 있다. [표 1]은 세계 주요 자동차 운반선사에 관한 목록이다.

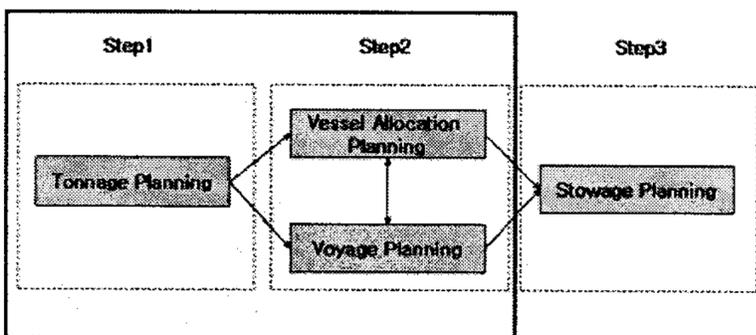
[표 1] 세계 주요 자동차 운반선사 [13,22,23,24,25,26,27,28]

구분	선사	운영 선박량	주요 고객 또는 지역
한국	EUKOR Car Carrier	85척 (약 35만대)	현대, 기아자동차
일본	NYK LINE	115척 (1,724,406DWT)	Toyota
	MOL	94척 (약 42만대)	Nissan (Nissan Motor Car Carrier)
	K-LINE	75척 (연간 약 300만대 수송)	아시아
유럽 (노르웨이)	HOEGH	53척 (약 29만 대)	유럽, 미주
	WWL	52척 (약 29만대)	유럽, 미주 (Eukor 자동차 운반선의 80% 지분 소유)

* DWT: Deadweight Tons, 재화중량 톤수

2.2 자동차 운반선사의 해상운송계획

자동차 운반선의 해상운송계획을 수립하기 위해서는 제품의 특성을 먼저 이해할 필요가 있다. 자동차는 생산시점에 각 차량별 고유 번호가 생성된다. 또한 수출차량의 목적지에 대한 정보도 함께 생성되기 때문에 같은 차종, 모델이라고 하더라도 고유번호 별로 수송관리 되어야 한다. 또한 자동차 제조업체(화주)의 수출 차량에 대한 생산 일정과 실제 생산결과(실제 수송해야 할 물량)의 오차가 수시로 발생하기 때문에 화주의 생산일정과 생산량을 점검하고 운송계획을 수정하는 과정이 수반되어야 한다.



[그림 5] 자동차 운반선의 해상운송계획

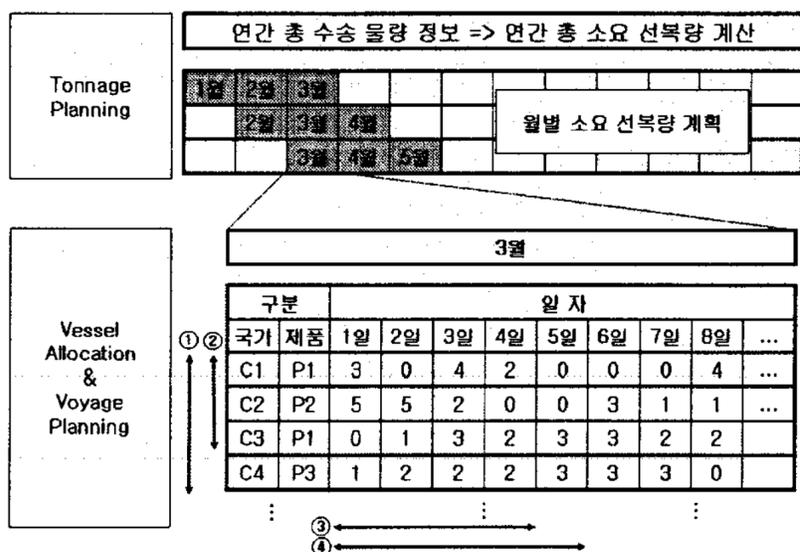
자동차 운반선사의 해상운송계획은 크게 tonnage planning, voyage planning, vessel allocation planning, stowage planning 4가지로 구분되고, 자동차 운반선사의 해상운송계획 과정은 [그림 5]와 같이 3단계로 구분된다. 계획의 첫 단계인 tonnage planning은 중장기적인 관점에서 기간별 수송 물량 및 이를 처리하기 위해 요구되는 선박량 간의 균형을 유지할 수 있도록 선박량을 확보, 유지, 관리하는 계획과정이다. 이는 선박을 조달하는 데 많은 시간이 소요되기 때

문에 vessel allocation과 voyage planning 전에 선박량을 안정적으로 관리하기 위함이다. 따라서 tonnage planning은 [표 2]와 같이 연간 생산계획 정보와 2~3개월 분량의 월별 총 생산물량 정보를 토대로 이루어진다. 이후 tonnage planning의 결과를 바탕으로 단기처리 물량(당월처리 물량)을 수송하기 위한 vessel allocation과 voyage planning이 이루어진다.

[표 2] 해상운송계획별 활용 데이터

구분	활용 데이터	데이터 내용 및 크기	데이터 생성 시기	데이터 제공자
Tonnage Planning	연간 생산 계획	각 월별 총 생산물량 (1년 치)	전년도 11월 말	화주
	월간 생산 계획	각 월별 총 생산물량 (2~3개월 치)	전월 말	
Vessel Allocation & Voyage Planning	수출국별 생산물량	차종, 수출 국가별 물량 (1개월 치)	당월 초	
	일별 생산 물량	차종, 수출 국가, 날짜별 생산물량 (1개월 치)	매일	

자동차 운반선사의 경우 화주(자동차제조업체)의 생산일정과 실제 생산된 양에 대해서 오차가 빈번하게 발생하기 때문에 정확한 계획을 위해서는 voyage planning과 vessel allocation planning이 단기적으로 진행되어야 한다. 이에 수송 당월에 제공되는 보다 정확한 정보(차종 및 수출국가 별로 제공되는 구체적인 단기 물량 정보)를 토대로 운송계획을 한다. Voyage planning은 각 선박의 기항지 결정과 경유 순서를 계획하고, vessel allocation planning은 각 선박에 어떤 물건을 얼마만큼 적재할 것인가를 계획한다. 일반적으로 두 계획 과정은 순차적으로 이루어진다 [20].



[그림 6] 자동차 운반선 해상운송계획

그러나 자동차 운반선의 경우는 수송하는 각 차량(화물)에 제품 고유번호와 수송 목적지에 대한 정보가 함께 생성되어 있기 때문에 선박에 어떤 차량을

적재하는가에 따라 선박의 기항지가 결정되고, 각 선박의 기항지 방문순서도 쉽게 결정되기에 vessel allocation planning을 진행할 때 voyage planning도 함께 고려되는 특성이 있다.

Vessel allocation planning에서 어떤 차량을 얼마만큼 선박에 할당할 것인지를 결정하기 위해서는 물량을 순차적으로 선박에 할당하는 것도 가능하지만, 선박 운항의 효율성을 위해 동일 생산일자를 가지는 물량들을 수송 국가별로 분류해서 물량을 조합(①, ②)하는 방식과 동일 수송목적지를 가지는 물량들을 일자별로 분류해서 물량을 조합(③, ④)하는 방식을 혼합하여 할당 계획을 수립해야 한다([그림 6] 참조). 이는 수송해야 할 물량이 화주로부터 매일 생산 공급됨에 따라 일자 별로 공급받은 물량이 각 선박의 선복량을 충족시키지 못하기 때문이다. 따라서 vessel allocation planning을 할 때 어떤 기항지들끼리 그룹핑(grouping)하여 할당하는 것이 voyage planning의 효율성을 높이는 것인지를 함께 고려해야 한다. 선박 별 적재될 물량과 기항지가 결정되고 나면, 계획된 물량을 선박에 어떤 순서로, 어느 위치에 적재하는 것이 효율적인가에 대한 계획이 진행되는데, 이를 stowage planning이라고 한다[21]. 본 논문에서 stowage planning에 관한 부분은 자동화의 어려움 때문에 제외 하였다.

2.3 자동차 운반선사의 해상운송계획 문제의 특성

효율적인 자동차 운반선의 해상운송계획을 수립하기 위해서는 최대의 물량을 최소의 선박을 사용해서 최단의 거리로 수송할 수 있도록 해야 한다. 해상운송 계획 문제와 유사한 기존의 문제는 물량 할당(배차)과 관련한 bin packing 문제와 VRP (Vehicle Routing Problem)가 있다.

Bin packing 문제는 정해진 화물을 최소의 용기에 적재할 수 있도록 화물에 대한 최적의 조합을 구하는 문제이다[9]. 이 문제에 대해서는 많은 연구가 이루어졌다[1,7,8]. 하지만 자동차 운반선 해상운송계획 문제는 수송해야 할 화물을 단순히 그룹별 물량을 조합해서 정해진 선박에 할당하는 것으로 문제가 해결되는 것은 아니다. 자동차 운반선 문제는 수송해야 하는 개별 화물(자동차)의 고유제품번호에 수송목적지 정보가 함께 부여되어 있다는 특성 때문에 제품의 그룹별 수송목적지도 함께 고려되어 선박에 할당되어야 한다. 즉 자동차 운반선은 기존의 bin packing 문제에서 고려하지 않는 선박의 운항 경로 결정부분을 화물의 할당시점에서 고려해야 한다는 차이점이 있다.

VRP는 차량에 의해 고객을 방문하게 되는 모든 문제(차량일정계획, 차량배치계획, 배송문제 등)를 포함한다[6]. 이 역시 많은 연구가 되어왔다[2,3,15]. 일반적으로 VRP는 지리적으로 분산된 고객에게 재화와 서비스를 효율적으로 수배송할 수 있도록 차량을 할당하고 운행 경로를 결정하는 문제로 정의된다. VRP를 해결하기 위해서는 수송목적지의 위치, 수송

량, 운송 수단에 대한 정보 등이 공개된 상태에서 문제에 대한 해결 접근이 이루어진다[10]. 하지만 자동차 운반선의 운송계획에서는 화주의 생산일정에 관한 정보가 수시로 변경되기 때문에 중장기적인 관점에서 보면 수송물량(수요량)과 수송목적지에 대한 정보를 정확하게 알 수 없다. 따라서 자동차 운반선의 해상운송계획 문제는 일반적인 VRP보다는 동적인(Dynamic) VRP로 분류될 수 있다. 하지만 자동차 운반선은 해상운송의 특성상 선박의 기항지 그룹이 결정되면 출발지에서 가까운 기항지부터 순차적으로 화물을 배달하기 때문에 한 선박이 운항할 항로를 구성하는 기항지들만 결정되면 항로 내에서의 최단 경로를 계산하는 과정이 생략된다. 따라서 자동차 운반선의 문제는 경로결정문제를 포함한 bin packing 문제 또는 경로결정 문제의 일부분이 단순화된 VRP(혹은 DVRP)로 이해될 수 있다.

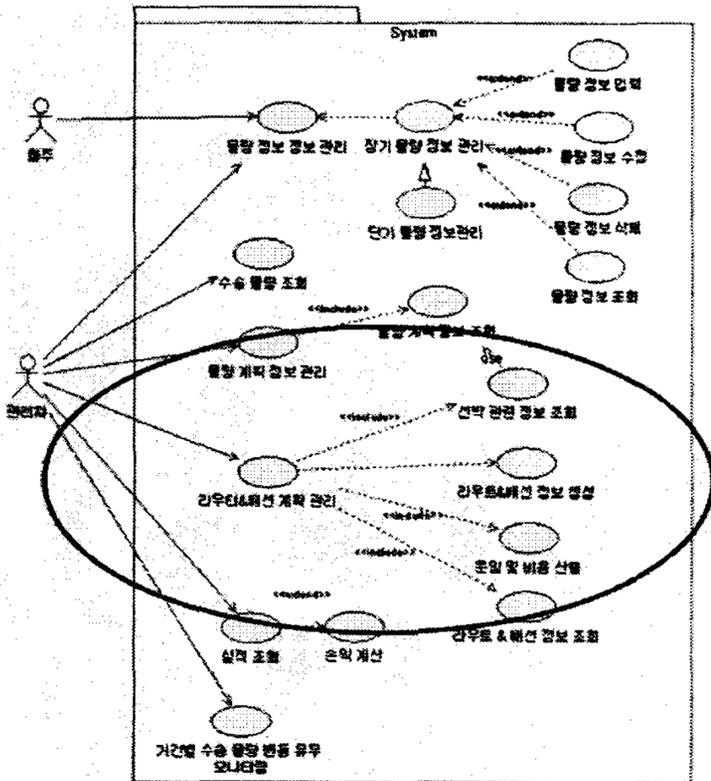
한편 VRP의 전형적인 형태인 택배 운송업에서 취급하는 화물(우편물) 역시 고유의 취급번호와 수송목적지의 정보를 동시에 가지고 있기 때문에 자동차 운반선이 취급하는 제품적 속성과 유사하다. 하지만 택배운송계획의 경우 bin packing과 TSP(traveling salesman problem) 모두 중요하게 고려되는 반면, 자동차 운반선의 경우 TSP에 관한 중요도가 다소 낮다는 차이점이 있다. 또한 택배의 경우 제품의 배달과 함께 주문의 수거(pick-up)가 수송계획의 주요 고려사항[11]인 반면, 자동차 운반선사의 경우(한국 기준)에는 대부분의 수송물량이 배달(수출)을 위한 것이고 주문(수입)을 위한 것은 거의 없기 때문에 계획 수립 시 수거에 관한 고려사항은 예외적으로 관리된다. 이와 같이 자동차 운반선 해상운송계획 문제는 기존의 VRP와는 다른 여러 특징을 가지고 있기에 기존에 연구된 모형과는 다른 새로운 모형을 필요로 한다.

본 연구에서는 자동차 운반선사 해상운송계획의 문제를 해결하기 위해 IP(integer Programming) 모형을 개발한다. 하지만 IP는 문제의 크기가 커지면 문제 해결 소요 시간이 기하급수적으로 늘어나는 단점이 있다. 그래서 VRP에 일부 연구자들은 Tabu Search, Simulated Annealing와 같은 메타 휴리스틱 알고리즘을 적용하였다[10,12]. 또한 사용자가 여러 문제해결 기법에 의해 생성된 대안을 보다 쉽게 이해하고 효율적인 계획을 수립할 수 있도록 의사결정 지원용 시뮬레이터(Simulator)나 의사결정 지원 시스템(Decision Support System) 등의 응용 기술들을 활용하는 것이 가능하다[5,16,17,19]. 본 연구에서는 의사결정지원시스템 내부에 IP 모형을 탑재하여 사용자가 최적의 해상운송계획을 수립할 수 있도록 지원하는 시스템을 개발한다.

3. 자동차 운반선사의 해상운송계획 지원 시스템

3.1 해상운송계획 지원 시스템의 기능

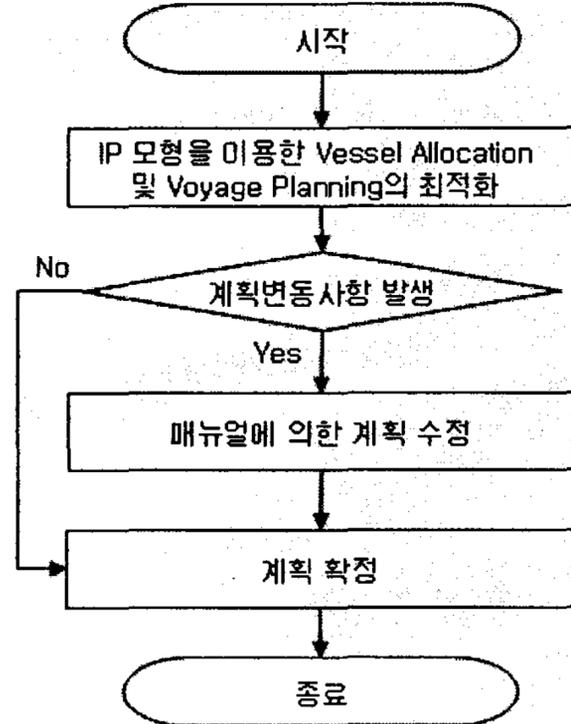
[그림 7]은 Use Case를 통해 자동차 운반선사의 운송 계획 지원에 필요한 기능을 정의한 것이다. 자동차 운반선의 해상운송계획 수립에 필요한 기능은 다음과 같다. 우선 화주가 자동차 운반선사(관리자)에게 물량정보를 신속하고 체계적으로 제공하기 위해서는 화주가 시스템을 통해 물량정보를 관리(입력, 수정, 삭제, 조회)하는 기능이 필요하다. 그리고 제공받은 물량정보를 바탕으로 vessel allocation 및 voyage planning을 할 수 있도록 선박관련 정보를 조회할 수 있는 기능을 제공하고, 계획 이후에는 계획결과(라우트&배선 정보와 운임 및 비용 정보)를 조회할 수 있는 기능이 제공되어야 한다. 그리고 계획에 대한 사후 관리 및 평가를 위해서 실적을 관리(조회)할 수 있는 기능이 제공되어야 한다. 한편 계획실행 이전에 물량정보가 바뀔 경우, 계획을 수정할 필요가 있기 때문에 물량정보의 변동에 대한 모니터링 기능을 제공하여 계획 수립의 정확성과 안정성이 유지되도록 한다.



[그림 7] 자동차 운반선 해상운송계획에 관한 Use Case

본 연구에서 제안하는 자동차 운반선사 해상운송계획 지원 시스템에서 사용자가 최적의 결과를 선택할 수 있도록 지원하는 핵심 기능([그림 7]의 둥근 원 부분)은 [그림 8]과 같다. 이 기능은 앞의 2.2절에서 설명한 것처럼 중장기(2~3개월 및 연간) tonnage planning이 계획된 상태에서 당월 수송물량을 선박에 할당, 서비스하기 위해 진행되는 voyage planning 및

vessel allocation planning (1개월 단기)에 대해서 사용자가 최적의(최대의 수익 혹은 최소 비용을 발생시키는) 계획을 수립할 수 있도록 지원하는 데 적합하게 설계되어 있다.



[그림 8] 시스템의 해상운송계획 구성 및 기능

[그림 8]에서 보여지는 것처럼 제안된 시스템은 기존의 수작업 기반의 계획을 보다 편리하게 하고, 화주의 물량처리 중심에서 선사의 수익성 중심으로 운송계획을 수립할 수 있도록 IP 모델을 탑재하여 최적의 수익성을 보장하는 계획안을 사용자가 선택할 수 있도록 한다. 그리고 IP 모형에 의해 계획이 수립된 이후, 해상 기후나 자동차 제조업체에서 발생하는 다양한 예외사항들(파업이나 조업 차질 등)에 의해 물량 및 선박 정보 등이 계획실행(물량의 수송)시점 이전에 변경될 경우 자동으로 생성된 계획의 결과를 사용자가 상황에 맞게 수정, 변경할 수 있는 매뉴얼 방식의 계획기능을 추가하였다. 이로써 계획의 IP 모형에 의한 양질의 계획 수립과 계획 수립 완료 및 계획실행 시점간에 발생하는 변경사항을 체계적으로 관리하는 것이 가능하다.

3.2 해상운송계획을 위한 IP 모형

자동차 운반선사의 해상운송계획은 출발지에서 수송할 차량(화물)을 선적하여 기항지(노드)를 특정 순서대로 방문하고 다시 출발점으로 돌아오는 데 소요되는 선박의 수와 비용을 최소가 되도록 물량을 선박에 할당하고 선박의 항로를 결정하는 문제로 정의할 수 있다. 화주로부터 제공받는 1개월 치의 일일 생산량 정보를 통해 수송해야 할 자동차 수와 수송 목적지(기항지) 그리고 생산일정을 알 수 있다. 또한 선사의 선박운용 정보를 토대로 출발지로의 선박 도착일정, 가용선박 수, 선박의 총 선복량을 파악할 수 있다. 각 선박은 서로 다른 가용 선복량을 가지고 있기 때문에 각 선박에서 발생하는 비용이 서로 다

르다. 또한 운송비용을 계산할 때 고려되는 하역 비용은 각 항구마다 서로 다르며 계획 기간 내에 수송 처리 되지 못한 물량에 대해서는 다음달로 이월시킬 수 있고, 각 선박에 적재할 차량이 결정되면 기항지 및 그 순서가 동시에 결정된다. 자동차 운반선사 해상운송계획 문제의 IP 모형은 다음과 같다.

(1)기호(첨자)

- i =노드(기항지) (j= 0, 1, 2 ..., N)
- j =노드(기항지) (j= 0, 1, 2 ..., N)
- ※ 0은 depot
- k = 목적지가 정해진 차량 그룹 (k=1, 2, ..., K)
- s = 선박 수 (s=1, 2, ..., S)

(2)파라미터

- TP_{ijs} : 선박 s가 노드 i에서 j까지 운항하는 비용
- DC_{sj} : 선박 s가 노드 j에서 하역하는 비용
- PQ_{jk} : 목적지가 j인 차량그룹 k의 차량대수
- PS_{jk} : 목적지가 j인 차량 그룹 k의 생산일정 (생산일정을 수송일정으로 가정함)
- AL_s : 선박 s를 depot에서 사용 가능한 시점
- CP_s : 선박 s의 선복 가용량
- CO_{jk} : 목적지가 j인 차량그룹 k를 다음달로 이월함으로써 발생하는 패널티 비용

(3)변수

- x_{ijs} : 선박 s가 노드 i에서 j까지 운행하면 1, 그렇지 않으면 0인 이진변수
- y_{sjk} : 선박 s가 목적지 j인 차량그룹 k를 적재하면 1, 그렇지 않으면 0인 이진변수
- y_{sj} : 선박 s가 목적지 j를 방문하면 1, 그렇지 않으면 0인 이진변수
- z_{jk} : 목적지가 j인 차량그룹 k를 다음달로 이월하면 1, 그렇지 않으면 0인 이진변수

자동차 운반선사 해상운송계획의 목적함수는 운송비용과 하역비용의 총합을 최소화하는 것이다.

$$Min \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, j \neq i}^N \sum_{s=1}^S TP_{ijs} \cdot x_{ijs} + \sum_{s=1}^S \sum_{j=0}^N DC_{sj} \cdot y_{sj} + \sum_{k=1}^K CO_{jk} \cdot z_{jk} \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{s=1}^S \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K PQ_{jk} \cdot y_{sjk} + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K PQ_{jk} \cdot z_{jk} = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K PQ_{jk} \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{sjk} - M \cdot y_{sj} \leq 0 \quad j=1, \dots, N, \text{ for all } s \quad (3)$$

$$y_{s0} = 1 \quad \text{for all } s \quad (4)$$

$$\sum_{i=0, i \neq j}^N x_{ijs} = y_{sj} \quad \text{for all } s, j \quad (5)$$

$$\sum_{i=0, i \neq j}^N x_{jis} = y_{sj} \quad \text{for all } s, j \quad (6)$$

$$\sum_{s=1}^S y_{sjk} = 1 \quad j=1, \dots, N, \text{ for all } k \quad (7)$$

$$\sum_{s=1}^S PS_{jk} \cdot y_{sjk} - \sum_{s=1}^S AL_s \cdot y_{sjk} \leq 0 \quad \text{for all } j, k \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K PQ_k \cdot y_{sjk} - CP_s \leq 0 \quad \text{for all } s \quad (9)$$

M은 아주 큰 수

식(2)는 계획기간 내 선박에 선적된 물량의 총합을 계획기간 내 생산된 물량(이월물량 포함)의 총합과 같게 한다.

식(3)은 노드 j에 기항하는 선박 s의 Y_{sj} 값을 설정한다.

식(4)는 모든 선박이 depot으로 돌아오도록 한다.

식(5), (6)은 노드 i와 j 간의 선박 이동 여부를 확인하여 각 기항지 간의 연속적인 운행을 결정한다.

식(7)은 차량 그룹 k가 한 선박에 적재되도록 한다.

식(8)은 차량의 생산일정이 선박의 도착일정과 같거나 앞선 경우에만 해당 선박에 선적이 가능하도록 한다.

식(9)는 선박에 적재된 총 차량의 수가 그 선박의 가용 선복량을 초과할 수 없도록 한다.

본 절에서 연구된 IP 모형은 자동차 운반선사 해상운송계획 지원 시스템에 탑재되어 사용자에게 최적의 해를 제공하는 기능을 하게 된다.

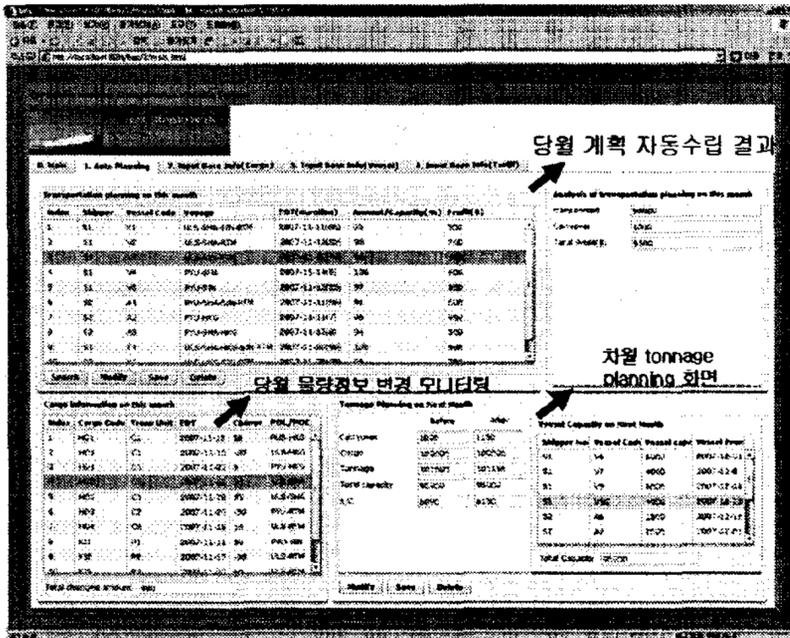
3.3 자동차 운반선사의 해상운송계획 지원 시스템의 구현

Cargo Code	Traces	Date	...
BCA	01	01	...
BCA	02	02	...
BCA	03	03	...
BCA	04	04	...
BCA	05	05	...
BCA	06	06	...
BCA	07	07	...
BCA	08	08	...
BCA	09	09	...
BCA	10	10	...
BCA	11	11	...
BCA	12	12	...
BCA	13	13	...
BCA	14	14	...
BCA	15	15	...
BCA	16	16	...
BCA	17	17	...
BCA	18	18	...
BCA	19	19	...
BCA	20	20	...
BCA	21	21	...
BCA	22	22	...
BCA	23	23	...
BCA	24	24	...
BCA	25	25	...
BCA	26	26	...
BCA	27	27	...
BCA	28	28	...
BCA	29	29	...
BCA	30	30	...

[그림 9] 자동차 운반선사 해상운송계획을 위한 기초 물량 정보 관리

자동차 운반선사 해상운송계획 지원 시스템은 Window 2003에서 Rational Rose, ERWin(설계), J2SE, Flex2.0(프로그래밍), MS-SQL 2000(DBMS), Apache tomcat(WAS) 등을 이용하여 개발되었다.

[그림 9]는 자동차 운반선의 해상운송계획 수립에 필요한 기초 물량정보를 관리(입력, 수정, 조회)하는 시스템 화면이다. 해당 화면 외에도 선박 운영에 필요한 기초정보와 운임/비용 요율(tariff)을 관리하는 화면이 제공된다.



[그림 10] 자동차 운반선사 해상운송계획 화면

[그림 10]은 tonnage planning을 바탕으로 당월 vessel allocation과 voyage planning을 수립하는 시스템 화면이다. 화면의 상단부는 IP 모형에 의해 자동 생성된 최적 해를 사용자에게 제공하는 화면이다. 출력화면에서 확인할 수 있는 정보는 할당된 선박과 선박의 운항경로, 선박의 가용량, 선적된 물량, 손익에 관한 정보 등이다. 한편 화면의 좌측 하단부는 자동 계획 시점 이후에 발생한 물량 변동 정보를 제공한다. 따라서 사용자는 기존 물량정보와 상이한 물량에 대해서 drag & drop 방식으로 간편하게 운송계획을 재조정할 수 있다. 그리고 당월 해상운송계획에 대한 수정이 완료되면 이를 바탕으로 다음달 tonnage 계획에 영향을 미칠 수 있는 이월 물량 정보(혹은 space chartering 소요량)를 제공한다. 따라서 다음달(혹은 그 이후)에 얼마만큼의 선박이 추가로 필요한지 사용자가 확인, 수정할 수 있다(우측 하단부).

제안된 자동차 운반선사 해상운송계획 지원 시스템은 IP 모형을 통해 수익성이 최대인 해상운송계획 결과를 사용자에게 자동으로 제시한다. 또한 자동 계획수립 이후 계획에 관한 기본 정보의 수정, 변경사항이 발생하였을 때 IP 모형을 재가동해서 최적의 해를 다시 도출할 수 있다. 그러나 수송시점(계획실행시점)이 임박하여 IP 모형을 재가동할 시간적 여유가 없거나 IP모형을 재가동할 필요가 없을 정도로 변동사항이 미미할 경우에는 사용자가 수작업으로 계획을 수정, 변경할 수 있도록 하여 다양한 동적인 변화에 대응할 수 있도록 함으로써 계획의 효율성을

높일 수 있다. 또한 사용자의 계획 수정 시 의사결정에 필요한 제반 정보들을 한 화면에 집약하여 제공한다는 점에서 사용자의 계획수립에 관한 의사결정 능력 개선에 도움을 줄 수 있다.

한편 현재 시스템의 계획 영역을 보다 확대해서 중장기적인 동적인 변화를 예측하여 다양한 계획을 수립할 수 있도록 기능을 보완한다면 자동차 운반선의 해상운송계획에 대한 성능을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 전망된다. 이는 자동차 운반선의 효율적인 운송계획에 의한 수익성 개선을 통해 화주에게 저렴한 서비스 제공을 가능케 함으로써 궁극적으로 자동차의 해상운송물류비가 절감되는 효과도 기대할 수 있을 것으로 전망된다.

4. 결론

본 논문에서는 자동차 운반선사의 해상운송계획에 관한 환경 분석과 이를 통한 문제 도출, 그리고 도출된 문제를 해결할 수 있는 방안으로 자동차 운반선사 해상운송계획지원 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 기존의 수작업 계획 방식을 자동화할 수 있도록 IP 모형을 사용하여 수익의 관점에서 최적의 대안을 사용자에게 제공한다. 또한 계획 수립 이후부터 계획 실행 시점까지 발생하는 급작스런 변경사항을 관리하기 위해 사용자가 수작업으로 계획을 수정 가능하도록 하였다. 이를 통해 다양한 동적인 변화를 가진 해결하기 어려웠던 현실 문제를 시스템 내에서 최대한 해결하고자 하였다. 하지만 자동차 운반선의 상황에 따라 계획수립(문제)의 범위가 커지게 되면 문제의 성격(NP-hard)상 최적 해의 도출 시간이 기하급수적으로 증가한다는 단점이 있다. 따라서 시장의 물동량 증가에 의한 변수의 증가 등으로 자동차 운반선 해상운송계획의 문제가 커질 것에 대비하여 IP에 의한 문제해결 방법 외에도 다양한 문제해결 접근노력이 추가되어야 한다. 또한 중장기적인 물량예측 및 선박관리에 관한 기능을 보완할 수 있는 연구를 진행함으로써 제안된 시스템의 성능을 개선시킬 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 강장하, 박성수 (2000). "크기가 다양한 bin-packing 문제에 대한 algorithm," 대한산업공학회/한국경영과학회 2000 춘계공동학술대회 논문집, pp. 205-206.
- [2] 고창성, 정기호, 신재영 (2000). "컨테이너 셔틀운송을 위한 차량 대수 결정," 경영과학, 제17권 제2호, pp. 87-95.
- [3] 김상자 (2001). "차량 경로문제의 배송시간 최소화를 위한 발견적 해법에 관한 연구," 명지대학교 대학원 석사학위 논문.
- [4] 김수엽 (2003). 자동차 운반선 시장 동향, 해양수

산동향

- [5] 박양병, 홍성철(1998). “배차계획을 위한 대화형 의사결정지원시스템,” 경영과학, 제 15권 제2호, pp. 201-210
- [6] 이규현 (1994). “차량경로문제(VRP)의 최적루트 설계를 위한 알고리즘 개발에 관한 연구, 한국 경영과학회지, 제19권 제1호, pp. 153-168.
- [7] 이상헌, 이정민 (2005). “타부서치를 이용한 2차원 직사각 적재문제에 관한 연구,” 경영과학, 제22호 제1권, pp. 167-178.
- [8] 이영덕 (2003). “컨테이너 빈패킹문제의 사례연구,” 울산대학교 경영학연구논문집, 제10권 제1호, pp. 1-9.
- [9] 장재원, 한치근 (1998). “제한된 Bin Packing Problem의 유전자알고리즘 해법,” 경희대학교 산학협력기술연구논문집, 제4권, pp. 265-270.
- [10] 전건욱 (2004). “유전 알고리즘을 이용한 다용량 차량경로문제,” 국방연구 제47권 제1호, pp. 191-212.
- [11] 정기호, 고창성 (2002). “택배 운송 네트워크 설계를 위한 할당 문제,” 대한산업공학회/한국경영과학회 춘계공동학술대회, pp. 987-993.
- [12] 조병현, 정성훈, 김기형, 오하령, 성영락 (1999). “물류시스템에서 운송비를 줄이기 위한 차량 할당 및 경로 설정 알고리즘 개발 및 성능평가,” 한국시물레이션학회 논문지, 제8권 제3호, pp. 91-103.
- [13] 허규완 (2002). “유럽시장에서의 우리나라 자동차 수출물류에 관한 연구,” 동국대학교 대학원 경영학 석사학위논문.
- [14] 현대·기아자동차(2006). 2006 자동차산업
- [15] Fagerholt, K. (1999). “Optimal fleet design in a ship routing problem,” International Transportations in Operational Research, Vol. 37, pp.35-47.
- [16] Fagerholt, K. (2004). “A computer-based decision support system for vessel fleet scheduling - experience and future research,” Decision Support Systems, Vol. 37, pp.35-47.
- [17] F. Ulengin, S. Onsel, Y. I. Topcu, E. Aktas, O. Kabak (2007). “An integrated transportation decision support system for transportation policy decisions: The case of Turkey,” Transportation Research Part A, Vol. 41, pp.80-97.
- [18] Mitsui O.S.K. Lines(2007). MOL Investor Guidebook
- [19] S. Pinson, J. A. Louca, P. Moraitis (1997). “A distributed decision support system for strategic planning,” Decision Support Systems, Vol. 20, pp. 35-51.
- [20] Timon C. D., Eldon Y. L., Defrose C. (2005). “Dynamic vehicle routing for online B2C delivery,” Omega, Vol. 33, pp.33-45.
- [21] Avriel, M., Penn, M., Shpirer, N. (2000). “Container ship stowage problem: complexity and connection to the coloring of circle graphs,” Discrete Applied Mathematics, Vol. 103, pp.271-279.
- [22] www.2wglobal.com
- [23] www.eukor.com
- [24] www.hoegh.com
- [25] www.nissancarrier.co.jp
- [26] www.nykline.com
- [27] www.mol.co.jp
- [28] www.walleniuslines.com