

## 동적 해상운송계획 수립을 위한 에이전트 시스템에 관한 연구\*

강무홍\*\* · 최형림\*\*\* · 김성관\*\*\*\*

### 〈 목 차 〉

I. 서론	IV. 동적 해상운송계획 수립을 위한 에이전트 프로토타입 개발
II. 관련 연구	4.1 에이전트 시스템 구조
III. 유전 알고리즘 설계	4.2 에이전트 기능
3.1 문제 정의	4.3 프로토타입 개발
3.2 염색체 표현	V. 결 론
3.3 초기해 생성 및 연산자 설계	참고문헌
	<Abstract>

### I. 서론

해상운송은 국제 무역의 척추라 할 수 있으며, 그 물동량은 지난 수십 년간 계속 증가해 오고 있고 앞으로도 계속 증가할 것으로 예상된다(Christiansen 등, 2007). 이러한 국제 물류시장의 성장은 시장에 대한 매력도를 높여 시장 참여자의 수적 증가와 시장의 경쟁 심화를 가져오고 있다. 이로 인해 물류서비스 공급자에게 효율적인 서비스 제공을 통한 가격 및 품질 경쟁력 강

화의 필요성이 점차 커지고 있으며, 이러한 국제 물류 문제를 해결하기 위한 많은 연구들이 진행되어왔다. 특히 해상운송의 경우, 국제 물류에서 차지하는 비중만큼이나 연구자의 높은 관심으로 타 운송영역에 비해 다양하고 많은 연구들이 이루어져 왔지만(Christiansen 등, 2007), 자동차 운송과 같이 해상운송시장에서 적은 비중을 차지하는 분야의 경우에는 관심 부족으로 인해 연구가 거의 이루어지지 못하였다.

세계 자동차 시장 확대에 따른 수출입 물량의

\* 이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.  
[NRF-2009-352-B00011]

\*\* 한국해양수산개발원 항만연구본부 전문연구원

\*\*\* 동아대학교 경영정보학과 교수

\*\*\*\* University of Arkansas at Little Rock 경영학과 교수

지속적인 증가는 자동차 운송선사에 자동차 운송선의 대형화와 같은 자동차 수출입 물동량의 처리 능력을 향상시키기 위한 노력을 요구하고 있다. 그러나 자동차 운송선의 선복량 증가가 수출 차량 증가에 미치지 못하여 자동차 운송선의 선복량 부족 현상이 발생하고 있다. 이에 자동차 운송선사들은 보다 많은 차량을 수송하고, 수송 비용을 줄이기 위해서 효율적인 운송계획을 통하여 선박들을 운용하고자 한다. 그러나 자동차 운송선사에서 해상운송계획 업무는 주로 실무자의 경험에 의존하여 수작업으로 이루어지고 있어 계획의 수립, 평가 그리고 관리에 있어 비효율적이며, 물량의 생산일자, 생산량, 선박의 도착일정과 같은 변동사항들을 반영하여 계획을 수정하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 선박의 라우팅과 스케줄링, 관리, 선적 계획을 수립하는 자동차 해상운송계획(Christiansen 등, 2007)을 보다 체계적이고, 효율적으로 수립하기 위해서는 자동차 해상운송계획에 필요한 정보를 바탕으로 최적의 운송계획을 수립하고, 그 후 변동되는 정보들은 실시간으로 반영하여 계획을 재수정할 수 있는 차량 해상운송시스템이 요구된다. 하지만 현실적으로 이러한 문제들을 해결하기 위한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

자동차 운송선사에서는 일반 운송선사와는 달리 자동차 운송선(Car Carrier Ship)을 이용하여 화물을 운송한다(Jia, 2007). 자동차 운송선은 자동차뿐만 아니라 전투기, 헬기, 철도차량, 기타 철제 구조물 등 다양한 화물을 선적하는데 적합하도록 안벽과 본선 간에 램프웨이(Ramp Way)를 설치하여 화물을 Roll-on/Roll-off 방식으로 양·적화 할 수 있게 건조된 Ro-Ro선의

일종이다. 자동차 운송선사는 이러한 자동차 운송선을 이용하여 효율적으로 화물을 운송하기 위한 계획을 수립하게 되며 이는 Tonnage Planning(1단계), Vessel Allocation Planning and Voyage Planning(2단계), Stowage Planning(3단계) 순으로 진행된다.

계획의 첫 번째 단계인 Tonnage Planning은 중장기적인 관점에서 선사가 수송해야 할 물량과 이를 처리하는 데 소요되는 선복량을 분석하여 이들 간의 오차가 최소화 되도록 선복을 유지, 관리하는 계획 과정이다. Tonnage Planning이 진행되고 난 이후에는 Vessel Allocation Planning과 Voyage Planning이 진행된다. Vessel Allocation Planning은 각 선박에 어떤 물건을 얼마만큼 실을 것인가를 결정하는 과정이고 Voyage Planning은 각 선박이 경유해야 하는 기항지와 이들의 경유 순서를 계획하는 과정이다. 자동차 제품은 생산시점에 제품의 고유번호와 수송 목적지가 함께 생성되기 때문에 선박에 화물이 할당됨과 동시에 선박의 기항지가 결정된다. 그리고 같은 차종이나 모델의 제품을 선적하더라도 선박의 기항지가 달라질 수 있기 때문에 자동차 운송선사의 해상운송계획에서 진행되는 Vessel Allocation Planning은 Voyage Planning과 함께 고려되어 계획되어야 한다. 그러나 일반적으로는 이 2가지는 순차적으로 진행된다. 한편 선박에 선적할 물량과 선박이 경유할 기항지가 결정되고 나면 계획된 물량을 선박의 어느 위치에 어떤 순서로 적재하는 것이 효율적인가를 계획하게 되는데, 이를 Stowage Planning이라고 한다.

본 연구에서는 이러한 해상운송계획 중 선박의 운항 루트를 결정하는 라우팅 문제인 Vessel

Allocation 및 Voyage Planning 단계만을 해결하기 위한 알고리즘 및 시스템을 개발하였다.

## II. 관련 연구

본 연구는 자동차 운송선의 최적 운송 라우팅 및 스케줄링 알고리즘 기반 에이전트 시스템을 개발하는 연구이다. 이러한 문제는 모든 고객 또는 화주의 요구를 충족시키면서 운송비용을 최소로 하는 차량경로문제(VRP; Vehicle Routing Problem)와 유사하다 할 수 있다. 차량경로문제는 NP-hard 문제이기 때문에 작은 크기의 문제를 제외하고는 최적해를 찾는 데 아주 긴 계산시간을 필요로 한다(Lenstra 외, 1981). 따라서 합리적인 시간 내에 이를 해결하기 위한 다양한 휴리스틱 방법론 및 유전 알고리즘, 타부 서치, 시뮬레이티드 어닐링, 개미군집최적화와 같은 메타 휴리스틱 방법론들이 연구되었다.

Baker와 Aychew(2003)는 차량경로문제를 풀기 위해 유전 알고리즘을 이용하였으며, 특히 좋은 해를 찾기 위한 교차 연산방법에 대해 연구하였다. Ho와 Haugland(2004)는 타부서치를 이용하였으며, Time Windows가 있고, 화물을 분리하여 배송(Split Delivery)될 수 있는 차량경로문제를 해결하였다.

차량경로문제는 문제의 특성에 따라 다양한 제약을 두고 있으며, 제약에 따라 HVRP(Heterogeneous VRP), VRPPD(VRP with Pickup & Delivery), CVRP(Capacitated VRP), VRPTW(VRP with Time Windows), MTRVP(Multi-Trip VRP) 등의 문제로 구분될 수 있다.

자동차 운송선사 문제의 경우는 이기종의 선

박을 고려(HVRP)하고, 중간 경유지에서 화물 수거가 발생(VRPPD)할 수 있으며, 특정 화물의 경우는 배송 기일이 정해져 있는 문제(VRPTW)이다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 유전 알고리즘(Baker and Aychew, 2003)을 적용하였다.

하지만 방법론만으로는 해운 환경에서 발생하는 동적인 변화에 대한 반영을 할 수 없다. 효율적인 해상운송계획을 위해서는 관련 정보들을 통합 계획에 반영할 수 있도록 하여야 하며, 관련 정보들의 실시간 수집 및 반영을 위해서는 오픈 구조를 지향하는 에이전트 기반 기술(Stone and Yeoloso, 1997)의 적용이 필요하다. 하지만 아직까지 해운과 관련하여 에이전트 기술을 적용한 연구는 많지 않다. 반면 에이전트 기술은 소통과 협상이 많이 필요한 SCM(Supply Chain Management)과 관련된 연구에서 많이 활용되고 있으며, 따라서 SCM과 같이 다양한 이해관계자를 두고 있고 환경 변화에 민감한 해운분야에서도 활용 효과가 클 것으로 예상된다. SCM 분야의 적용사례를 몇 가지 살펴보자면, Park 등(2007)은 공급자, 생산자, 소비자, 기타 파트너와의 통합 정보 공유 및 문제 해결을 위해 에이전트 기술을 적용하였고, 김현수 등(2004)은 에이전트 협상을 통해 전체 SCM 상에서의 최적해를 찾기 위한 시맨틱 웹(Semantic Web) 기반의 에이전트 협상 방법에 대해 연구하였다. 국내뿐만 아니라 국외에서도 SCM 분야에 에이전트 기술을 적용한 연구들이 많이 있으며 MetaMorph II(Shen 등, 2000)와 MASCOT(Sadeh 등, 2001) 등이 대표적인 연구라 할 수 있다.

SCM분야 외에도 에이전트 기술을 활용하여

문제를 해결하거나 효율성을 높이기 위한 다양한 연구들이 수행되고 있다. Zhang 등(2006)은 글로벌 시장에서 발생하는 동적인 변화에 대응하기 위한 방법으로 생산시스템 뿐만 아니라 공급 네트워크를 동적이며 낮은 비용으로 구성하고 통합, 최적화 및 통제할 수 있는 에이전트 기반 생산시스템을 제안하였고, 김경환(2010)은 동시에 의료지도를 요구하는 구급차량들과 활용 가능한 다수의 의료진을 보다 자동으로 연계시킬 수 있도록 에이전트 기반의 자동화된 통신시스템을 제안하였다. 또한 김현수 등(1998)은 인터넷을 기반으로 전자상거래 관련 기술을 이용하여 중소기업제조업체의 판매활동을 지원하는 지능형 멀티 에이전트 시스템인 SAPM (Sales Agents for Part Manufacture)를 개발하였다.

이와 같이 에이전트는 다양한 분야에 적용되어 그 효과성을 입증하고 있으며 본 연구에서도 에이전트 기술을 활용하여 필요한 정보에 대해 실시간으로 수집할 수 있도록 프레임워크를 구성하였고, 유전알고리즘을 포함한 에이전트 기반의 프로토타입을 개발하였다.

### Ⅲ. 유전 알고리즘 설계

#### 3.1 문제 정의

자동차 운송선사의 해상운송계획 문제는 여러 대의 자동차 운송선이 하나의 출발 지점에서 목적지가 정해져 있는 차량들을 싣고, 그 차량들을 여러 목적지 항에 배송한 후, 다시 출발점으로 돌아오는 최소비용의 경로를 선정하는 문제

이다. 이를 풀기 위해서는 각 화물마다 운송할 선박을 먼저 할당해야 하며, 할당된 결과에 의해 정해지는 선박마다의 목적지항들의 방문 순서를 결정해야 한다.

이러한 자동차 운송선의 라우팅 문제는 차량 경로문제와 유사한 문제이다. 일반적인 차량 경로문제는 짧은 계획기간 내에서 차량과 고객에게 전달되어야 할 화물들이 모두 준비되어 있고, 모든 고객은 한 차량에 의해 한번 방문함을 가정한다. 하지만 자동차 운송선의 라우팅 문제에서는 이와 달리 긴 계획기간을 가지고 있고, 또한 모든 선박들의 이용 가능한 일자가 다르며, 목적지로 운송되어야 할 화물들도 일별로 생산되어 특정 시점에 준비가 되어 있지 않다. 또한 선박의 경우 운영비용이 너무 높아 대기에 따른 손실 비용이 크고 다음 계획기간에 선박 부족을 야기할 수 있기 때문에 가능하면 출발지에서 대기 없이 운항하는 것을 원칙으로 하고 있어 계획기간 내에 하나의 목적지를 여러 선박이 방문할 수도 있다. 따라서 자동차 운송선의 라우팅 문제는 NP-Hard인 차량경로문제보다 더 복잡한 문제라 할 수 있으며 이를 위해서 본 연구에서는 휴리스틱 해법 중 하나인 유전 알고리즘(Baker and Ayechev, 2003)을 사용하여 계획을 수립할 수 있도록 하였다.

#### 3.2 염색체 표현

제안된 유전 알고리즘의 염색체 표현은 크게 두 가지로 나누어진다. 첫 번째 염색체는 화물별로 선박을 할당하기 위한 Vessel Allocation 염색체이고 두 번째 염색체는 각 선박들의 경유지 방문 순서를 결정하기 위한 Voyage 염색체이다.

먼저 Vessel Allocation 염색체는 선박의 번호를 반복시키는 형태로 이루어진다. 하나의 유전인자(gene)는 그 기간에 해당하는 물량이 유전인자로 표현된 선박에 할당되는 것을 의미한다. 예를 들어 목적지가 3개(B, C, D)이고, 계획기간의 일자가 5이고 선박이 2대(F1, F2) 일 경우는 <그림 1>과 같이 표현된다. <그림 1>의 Vessel Allocation 염색체 표현에서 목적지 B로 보내질 첫째 날(1<sup>st</sup> Day) 생산된 차량들은 선박 1(F1)에 할당된다. 또한 목적지 C로 보내질 첫째 날(1<sup>st</sup> Day) 생산된 차량들은 선박 2(F2)에 할당됨을 나타낸다. 이렇게 Vessel Allocation 염색체에서는 목적지에 따라 일별로 생산되는 차량들을 선적할 선박번호를 할당하는 것으로 염색체를 구성한다.

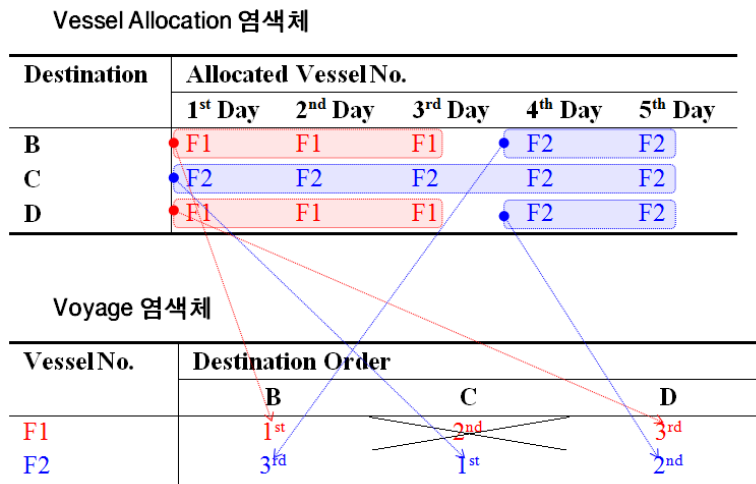
각 선박들의 목적지 방문 순서는 Voyage 염색체를 따르며 각 선박별로 방문 순서를 결정하게 된다. 예를 들어 <그림 1>과 같이 표현된 Voyage 염색체에서 선박 2(F2)는 세 목적지 B, C, D의 차량을 모두 적재하였기 때문에 세 목적

지를 다 방문하게 되는데, 결정된 Voyage 염색체에 의해 방문순서는 목적지 C → D → B 순서가 된다. 선박 1(F1)은 목적지 B → C → D의 순서로 방문하는 것으로 결정되었으나 목적지 C의 화물은 신지 않았으므로 실제로는 B → D의 순서로 방문하게 된다.

본 연구에서 개발한 유전알고리즘은 이 두 염색체 표현을 통해 차량의 선박할당과 선박의 항해경로를 동시에 결정하게 된다.

### 3.3 초기해 생성 및 연산자 설계

국소 탐색법에서 초기해는 최종해에 많은 영향을 미친다. 일반적으로 유전 알고리즘은 초기해를 임의대로 발생시켜 사용하고 있으나, 자동차 운송선사의 문제는 계획기간이 길어 문제가 크기 때문에, 좋은 초기해로 모집단을 생성하여 진화하도록 하여 빠른 시간 내에 더 나은 최종해를 구할 수 있도록 하였다. Vessel Allocation 염색체의 경우는 목적지별로 선박을 할당하되 가



<그림 1> 염색체의 표현방법

능하다면 이전 기간에 이미 할당된 선박을 그대로 할당하여 같은 목적지별로 같은 선박이 우선 할당되도록 하였으며, Voyage 탐색체의 경우는 출발지부터 가까운 순서로 방문하도록 하였다.

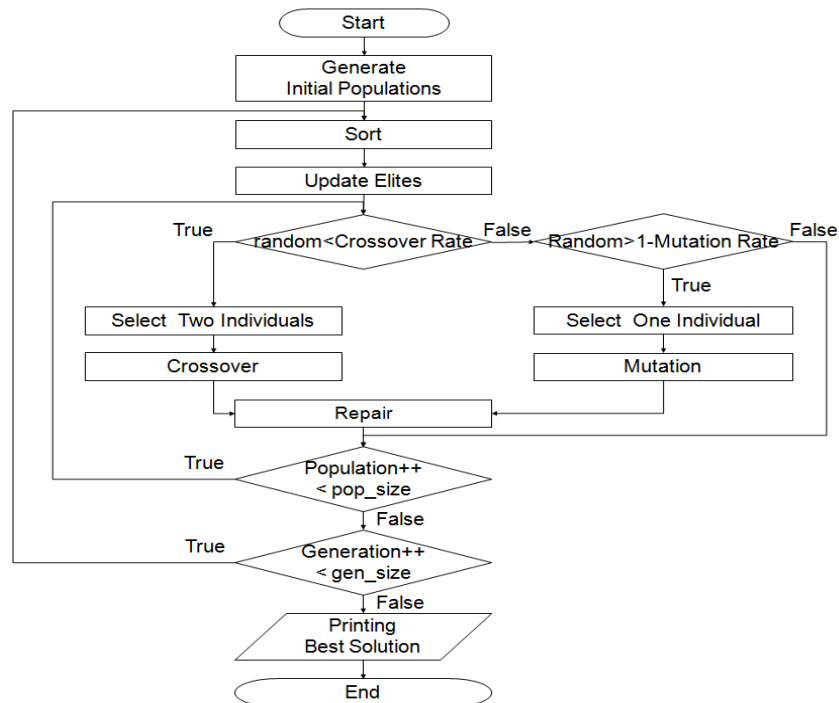
좋은 초기해로 얻은 탐색체들이 가지고 있는 좋은 순서관계를 유지하면서 진화과정에서 조금씩 해를 개선시켜 나갈 수 있는 연산자가 필요하다(Burger 등, 1998). 이런 면에서 교차 유전 연산자는 유전 알고리즘에서 가장 중요한 탐색 연산자이다. 교차 연산자는 보다 좋은 해를 만들 수 있도록 부모로부터 좋은 인자를 받을 수 있도록 설계하여 한다. 본 연구에서는 실험을 통해 좋은 결과를 보인 Holland(1992)의 일점 교차 연산자를 적용하였다.

돌연변이 연산자는 교차 연산자와 마찬가지로 유전 알고리즘에서 중요한 연산자 중 하나이

며 탐색체에 변화를 주어 집단 내의 다양성을 유지하기 위해 사용된다. 교차 연산자와 마찬가지로 돌연변이 연산자도 다양한 형태로 연구가 수행되었으며 본 연구에서는 그 중 세 개의 점을 선택하여 이를 상호교환해서 좋은 결과를 선정하는 Neighborhood search-based 돌연변이 연산자(Gen and Cheng, 1997)를 사용하였다.

유전 연산 수행 후 선박의 적재용량을 넘기거나 선박의 도착일 이후에 화물이 할당되는 비실행가능해가 발생할 수 있으며 이를 실행가능해로 바꾸기 위한 과정이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 경우 잘못 할당된 선박의 물량을 비용의 증가 폭이 가장 작은 선박으로 재할당하게 하도록 하였다.

선택방법으로는 씨종자 선택(seed selection)을 사용하고(Park 등, 2003), 다음 세대의 구성



<그림 2> 유전 알고리즘 수행 과정

은 현 세대에서 선택방법과 유전 연산자들이 이용하여 새롭게 구성한다. 새로운 개체들을 초기 모집단의 개수만큼 생성하여 다음 세대를 구성하고 난 뒤 엘리티즘(elitism)을 적용하여 나쁜 개체는 엘리티즘 적용 개수만큼 좋은 개체로 다시 대체한다. 전체 유전 알고리즘 수행 과정을 도식화하면 아래의 <그림 2>와 같다.

#### IV. 동적 해상운송계획 수립을 위한 에이전트 프로토타입 개발

해상운송계획 수립을 위해서는 얼마만큼의 차량이 생산되어 운송되어야 할 예정인지, 그리고 이를 운송하기 위한 선박은 어떻게 되는지를 파악하여 정해진 선박량으로 운송해야 할 차량들을 어떻게 처리할 것인지를 결정해야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 연구들이 진행되고는 있으나, 대부분이 수리적 모형이나 알고리즘에 기반 한 해결 방법만을 제시하기 때문에 해상운송계획 수립 시 발생하는 다양한 환경 변화에 대한 정보를 실시간으로 반영할 수는 없었다.

해상운송계획을 수립하기 위해서는 다양한 동적 요인들이 발생할 수 있다. 특히 차량 생산과 관련된 정보들의 변동은 자주 발생하고 있으며, 이에 따라 새롭게 해상운송계획을 수립해야 하는 경우가 발생하게 된다. 또한 날씨나 선박의 고장으로 인한 선박의 변화가 발생할 수도 있으며, 이러한 환경 변화는 즉시 반영되어 해상운송계획이 수립되도록 해야 한다.

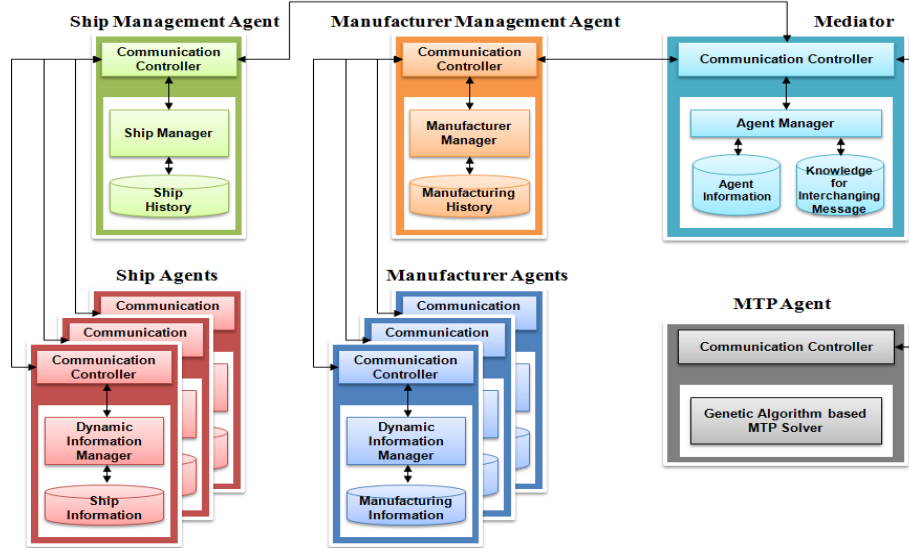
본 연구에서는 화물을 생산하는 차량 생산자, 그리고 화물을 운송하는 운송 선사의 현황정보

및 능력 정보를 실시간으로 획득하고 통합 운영 중에 발생하는 환경 변화에 대응하여 계획/재계획하기 위해서 에이전트 시스템을 활용한다.

#### 4.1 에이전트 시스템 구조

본 연구에서 제시된 에이전트 시스템은 유전 알고리즘을 이용한 해상운송계획 수립 엔진을 기반으로 생산자, 선사들의 정보를 실시간으로 수집함으로써 최적의 동적 해상운송계획을 세울 수 있도록 지원할 것이다. 또한, 환경 변화에 따라 효율적이고 신속하게 대응하여 재계획을 수립할 수 있고, 이를 통해 해상운송계획을 수정할 수 있다.

해상운송계획을 위한 에이전트 시스템은 먼저 생산자로부터 주문을 수집하고, 이들의 변경된 주문 정보를 실시간으로 관리하는 생산자 에이전트(Manufacturer Agent), 선사들의 각 선박들에 대한 위치, 적재 공간 현황, 현재 상태 등과 관련된 실시간 변화 정보를 관리하는 선박 에이전트(Ship Agent)가 있다. 이들과 통신하며 Mediator로부터 받은 정보를 이들에게 전달해주는 생산자 관리 에이전트(Manufacturer Management Agent) 그리고 선박 관리 에이전트(Ship Management Agent)가 있다. 그리고 에이전트 시스템 내의 다양한 기능을 수행하는 에이전트들을 조정하고, 메시지 교환을 통제하는 중앙조정 에이전트인 Mediator를 둔다. 또한 해상운송계획을 수립하기 위한 유전 알고리즘 기반의 해상운송계획 에이전트(Maritime Transportation Planning Agent)를 포함한다. 본 연구에서는 해상운송계획을 위해 Mediator를 중심으로 각 에이전트들이 서로 메시지를 교환



<그림 3> 해상운송계획 에이전트 시스템 구조

하고 각자의 기능을 수행하도록 하는 에이전트 시스템을 구현하였으며, 그 구조는 <그림 3>과 같다.

## 4.2 에이전트 기능

### 4.2.1 Mediator

Mediator는 시스템 내부의 각 에이전트 및 에이전트 간의 메시지 교환을 조정, 통제하는 역할을 수행한다. 다양한 에이전트들이 각각의 업무를 효율적으로 수행하고, 각 에이전트 사이에 메시지를 제대로 전달하기 위해서는 이를 중간에서 조정하고 통제하는 에이전트가 필요하다. Mediator는 각 에이전트에 대한 정보와 에이전트의 조정 및 메시지 교환을 위한 지식베이스를 보유하고 있다. Shen과 Norrie의 연구에서 멀티 에이전트 시스템에서 Mediator의 역할에 대한 중요성을 강조하면서 Mediator가 가져야 하는 기능을 다음과 같이 제시하고 있다(Shen and

Norrie, 1997).

- 구매자 에이전트와 연결을 위한 네트워크 인터페이스
- 구매자 에이전트와 메시지를 송수신하기 위한 인터페이스
- Mediator 행동에 대한 지식(이벤트 및 환경변화에 대응하는 지식 포함)
- 시스템 내부의 다른 에이전트 역할에 대한 지식
- 시스템 프로세스에 대한 지식
- 지식의 추론 및 자동학습기능

### 4.2.2 생산자 에이전트(Manufacturer Agent : MA)

생산자 에이전트는 생산자가 에이전트 시스템 내의 다른 에이전트와 의사소통을 할 수 있게 하는 역할을 한다. 생산자 에이전트는 각 생산자의 기간별 생산량에 대한 정보를 빠르게 전달하기 위해 현재 작업 상황과 기간별 생산 능력에



대한 정보를 보유하고 있다. 또한 생산자에게 갑자기 발생한 환경 변화 정보를 생산자 관리 에이전트에 전달한다.

#### 4.2.3 선박 에이전트(Ship Agent : SA)

선박 에이전트는 각 선박이 에이전트 시스템 내의 다른 에이전트와 의사소통을 할 수 있게 하는 역할을 한다. 현재 선박의 도착시간 및 적재 가능량에 대한 정보를 빠르게 전달하기 위해 현재 위치 및 상태, 적재량에 대한 정보를 보유하고 있다. 또한 갑작스런 사고, 천재지변에 의한 연착, 변경 등의 정보를 선박 관리 에이전트에 전달한다.

#### 4.2.4 생산자 관리 에이전트(Manufacturer Management Agent : MMA)

생산자 관리 에이전트는 생산자 에이전트와 메시지 교환 역할을 수행하는 에이전트로서, 생산자에서 발생한 변동 정보를 실시간으로 수집하여 해상운송계획에 반영되도록 Mediator에 전달하는 역할을 수행한다.

#### 4.2.5 선박 관리 에이전트(Ship Management Agent : SMA)

선박 관리 에이전트는 선박 에이전트와 메시지 교환 역할을 수행하는 에이전트로서, 각 선박들에서 발생한 변동 정보를 실시간으로 수집하여 해상운송계획에 반영되도록 Mediator에 전달하는 역할을 수행한다.

#### 4.2.6 해상운송계획 에이전트(Maritime Transportation Planning Agent : MTPA)

해상운송계획 에이전트는 생산자 및 선박 관리 에이전트로부터 수집된 차량 생산 계획 및 선복 정보를 기반으로 해상운송계획을 수립하고, 동적인 환경 변화에 따라 재계획하는 역할을 수행하는 에이전트이다. 해상운송계획을 수립하기 위한 유전알고리즘을 포함한 핵심적인 에이전트라 할 수 있겠다.

MTPA는 3장에서 설계한 유전알고리즘을 기반으로 최적의 해상운송계획을 수립하게 된다. 본 연구에서는 설계된 유전알고리즘의 성능을

<표 1> 성능 실험 결과

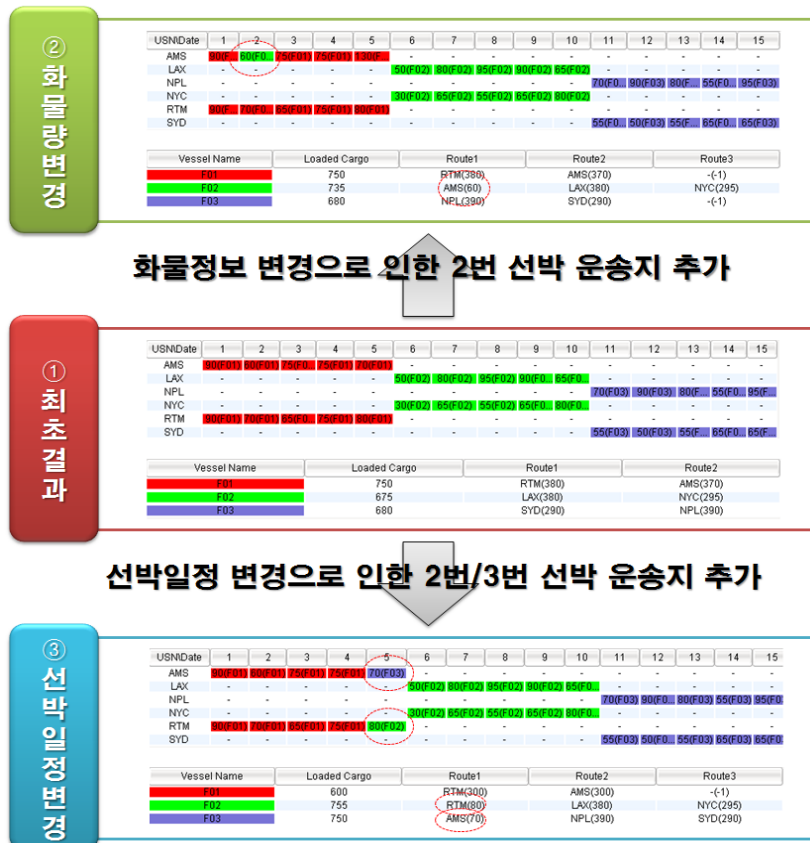
문제 크기			정수계획법		유전알고리즘		
목적지(개)	선박(대)	기간(일)	결과(달러)	시간(초)	결과(달러)	시간(초)	최적성(%)
4	4	10	63,939	0.96	63,939	3.56	<b>100</b>
		20	91,381	1.64	91,381	4.11	<b>100</b>
		31	106,969	3.1	106,969	4.9	<b>100</b>
5	5	10	98,752	10.17	99,119	8.42	<b>99.63</b>
		20	99,057	102	99,423	10.21	<b>99.63</b>
		31	101,872	1,310	102,238	12.33	<b>99.64</b>
7	7	10	133,793	18,000	136,624	13.58	<b>97.88</b>
		20	131,768	18,000	134,914	15.81	<b>97.61</b>
		31	146,445	18,000	147,780	21.34	<b>99.10</b>

평가하기 위해 <표 1>에서 보는 것과 같이 다양한 크기의 문제에서 정수계획법으로 얻은 최적해와 결과를 비교하였다. 정수계획법의 최적해를 얻기 위해서는 ILOG CPLEX를 사용하였으며, 기항지수, 선박수, 계획기간에 대해 다양한 크기의 문제를 임의로 생성하였고, 유전알고리즘은 100회 반복 실험해서 얻은 최고해를 제시하였다. <표 1>에서 최적성은 제안된 유전알고리즘 결과값을 평가하기 위해  $(1 - (\text{제안된 유전알고리즘 결과값} - \text{최적해}) / \text{최적해}) \times 100$ 으로 계산하였다. 정수계획법의 경우 목적지 7개, 선박 7척의 문제 경우 4일 동안 연산을 해도 최적해를 구할 수 없어 5시간 동안 연산한 결과값과

비교하였다. 결과에서 알 수 있듯이 본 연구에서 개발한 유전알고리즘이 거의 최적해를 탐색하거나 근접하는 값들을 찾을 수 있는 것을 알 수 있었다.

### 4.3 프로토타입 개발

본 연구를 통해 개발된 프로토타입은 화물량의 증감뿐만 아니라 선박의 변화를 실시간으로 모니터링하고 상황 발생 시 이를 반영하여 재계획할 수 있도록 개발되었으며, 실제 자동차 운송 선사인 E사의 해상운송계획 업무 사례에 적용하여 적용 가능성에 검토해 보았다.



<그림 4> 상황발생에 따른 선박할당 결과

본 논문에서는 보안상의 문제로 E사의 데이터를 사용하지 않았고 E사의 사례를 기반으로 만든 임의의 샘플 데이터로 테스트를 해보았으며, 이는 2011년 10월 총 15일 동안 2,105대의 차량을 울산항에서 실어 로테르담, 암스테르담, 로스앤젤레스, 뉴욕, 시드니, 뉴플리머스의 6개 항만에 3대의 선박을 이용하여 운송하는 문제이다.

최초 상황(<그림 4>의 ①)에서 에이전트 시스템은 비용을 567,022로 산출하였으며, 3대의 선박들이 각각 유럽주, 미주, 오세아니아주에 한 대씩 배정이 된 결과를 얻을 수 있었다.

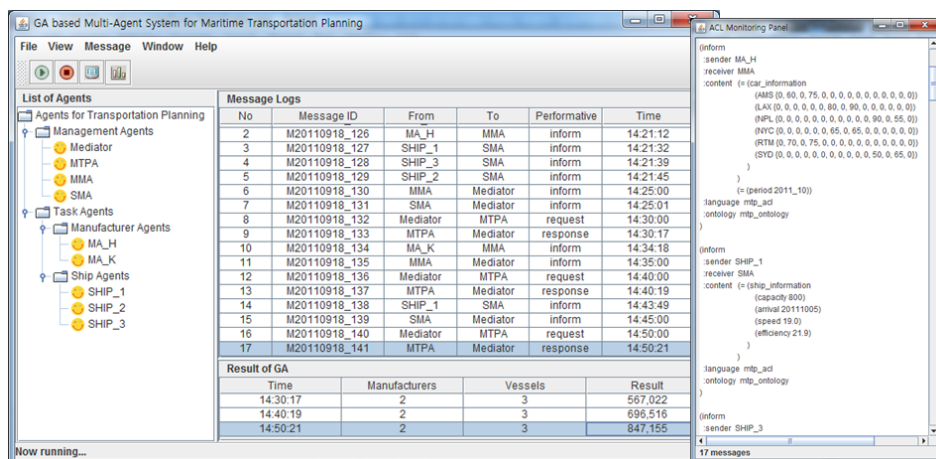
에이전트 시스템의 동적 계획 수립 기능에 대해 검증하기 위해 암스테르담으로 가는 5일째 화물량이 기존 70에서 130대로 변경된 상황(<그림 4>의 ②)을 만들었으며, 에이전트 시스템은 이를 감지하고 새로운 결과인 696,516의 비용을 산출하였다. 이러한 상황은 기존 결과에서 할당된 선박 1(F1)의 적재 용량이 초과한 상황으로 다른 선박에 배정됨으로써 운송비가 최초 계획 시보다 증가하게 되었다.

다음으로 선박 1(F1)의 도착시간이 앞당겨진 상황(<그림 4>의 ③)이 발생되었을 때 에이전트 시스템은 이를 감지하고 847,155의 결과를 산출해 내었다.

이러한 상황들은 에이전트 통신 언어인 ACL(Agent Communication Language)을 기반으로 에이전트간 상호 전송되며 <그림 5>의 메인화면에서 이를 확인할 수 있다.

## V. 결론

최근 자동차 수출입 무역의 성장과 더불어 자동차 운송선사의 시장도 급속도로 증가하고 있다. 이에 따라 자동차 운송선사의 효율적인 선박 활용을 위한 해상운송계획 업무량도 증가하고 있어 작업자의 노하우와 수작업을 통한 계획의 한계가 보이기 시작하고 있다. 이에 작업자의 해상운송계획수립 업무를 지원할 수 있는 방법론과 시스템의 개발이 시급히 요구되고 있는 시점이지만 자동차 운송선사의 해상운송계획 업무



<그림 5> 에이전트 시스템 프로토타입 및 화물 정보 변경에 따른 에이전트 메시지

에 맞는 연구들은 진행되지 않고 있었다.

본 연구에서는 이를 해결하기 위해 자동차 운송선사의 업무를 파악하고 이에 맞는 방법론을 개발하였으며 이를 기반으로 자동차 운송선사의 해상운송계획 의사결정을 지원할 수 있는 에이전트 기반의 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템은 단순히 해상운송계획만을 수립하는 것이 아니라 화물 변동, 선박 도착일 지연 등과 같은 환경의 변화에 따라 재계획할 수 있도록 구현되었으며, 실시간으로 이러한 정보들을 수집할 수 있도록 구현되었다.

본 연구에서 개발된 방법론과 시스템은 기본적으로 차량경로문제와 부정기선 운송계획 문제와 유사하지만 다양한 제약들이 추가됨에 따라 이들의 발전된 형태라 할 수 있겠다. 따라서 차량경로문제의 주요 응용 분야였던 택배 문제에 활용될 수 있을 것이며, 또한 부정기선 문제에도 바로 활용될 수 있을 것이라 생각된다.

하지만 본 논문에서 해결하지 못한 몇 가지 연구과제들이 있다. 먼저 자동차 운송선의 경우 실을 수 있는 화물 종류가 승용차, 상용차로 구분되어 있으며 상용차를 얼마만큼 적재하느냐에 따라 선박의 가용량이 달라진다. 따라서 보다 정확한 해상운송계획을 위해서는 적재(Stowage) 계획 시스템과의 연동을 통해 승용차, 상용차 적재 계획에 따른 정확한 선박 가용량의 확인이 이루어져야 할 것이다. 그리고 현재 구현된 시스템에서는 비용 최소화만을 목적함수로 다루고 있으나 선박들의 Turn around time의 최소화나 이윤 최대화 등 다양한 목적함수로 대안들을 평가할 수 있도록 필요한 자료의 수집과 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- 김경환, “에이전트를 활용한 응급의료지도 지원 시스템 설계에 관한 연구,” 정보시스템 연구, 제19권, 제3호, 2010. pp.263-278.
- 김현수, 최형림, 박영재, 김경환, 주명호, 손형수, “인터넷 환경하에서의 부품제조업체를 위한 판매 에이전트 개발,” 정보시스템 연구, 제7권, 제2호, 1998, pp.215-233.
- 김현수, 조재형, 최형림, 홍순구, “공급사슬구성에서 협력적 에이전트를 위한 시맨틱 웹 설계,” 정보시스템연구, 제13권, 제2호, 2004, pp.135-153.
- Baker, B. M., Ayechev, M. A., "A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem," *Computers and Operations Research*, Vol.30, Issue5, 2003, pp.787-800.
- Burger, J., Salois, M., and Begin, R., "A Hybrid Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Vol.1418, 1998, pp.114-127.
- Christiansen, M., Fagerholt, K., Nygreen, B., and Ronen, D., "Maritime Transportation," *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Vol.14, 2007, pp.189-284.
- Gen, M., and Cheng, R., *Genetic Algorithms and Engineering Design*, New York, John Wiley & Sons, 1997.
- Ho, S. C., and Haugland, D., "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split

- Deliveries," *Computers and Operations Research*, Vol.31, Issue 12, 2004, pp.1947-1964.
- Holland, H. J., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, MIT Press, Cambridge, 1992.
- Jia, J., "Investigations of Vehicle Securing without Lashings for Ro-Ro Ships," *Journal of Marine Science and Technology*, Vol.12, No.1, 2007, pp.43-57.
- Lenstra, J., and Kan, R., "Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems," *Networks*, Vol.11, Issue 2, 1981, pp.221-227.
- Park, B. J., Choi, H. R., and Kim, H. S., "A Hybrid GA for Job Shop Scheduling Problems," *Computers and Industrial Engineering*, Vol.45, 2003, pp.597-613.
- Park, B. J., Choi, H. R., and Kang, M. H., "Multi-Agent based Integration of Production and Distribution Planning using Genetic Algorithm in the Supply Chain Management," *Advances in Soft Computing*, Vol.41, 2007, pp.696-706.
- Sadeh, N. M., Hildum, D. W., Kjenstad, D., Tseng, A., "MASCOT: An Agent-Based Architecture for Dynamic Supply Chain Creation and Coordination in the Internet Economy," *Production Planning & Control: The Management of Operations*, Vol.12, No.3, 2001, pp.212-223.
- Shen, W., Hao, Q., Yoon, H. J., and Norrie, D. H., "Applications of Agent-Based Systems in Intelligent Manufacturing: An Updated Review," *Advanced Engineering Informatics*, Vol.20, Issue 4, 2006, pp.415-431.
- Shen, W., Norrie D., "Facilitator, Mediator or Autonomous Agents," *In Proceedings of the Second International Workshop on CSCW in Design*, Bangkok, Thailand, November, 1997, pp.119-124.
- Stone, P., and Yeoloso, M., *Multi-agent Systems: A Survey from a Machine Learning Perspective*, Technical Report, CMU-CS-97-193, Computer Science Department, Carnegie Mellon University, 1997.
- Turoski K, "Agent-Based e-Commerce in Case of Mass Customization," *International Journal of Production Economics*, Vol. 75, Issue 1-2, 2002, pp.69-81.
- Zhang, D. Z., Anosike, A. I., Lim, M. K., and Akanle, O. M., "An Agent-Based Approach for e-Manufacturing and Supply Chain Integration," *Computers and Industrial Engineering*, Vol.51, Issue 2, 2006, pp.343-360.

### 강무홍(Kang, Moo-Hong)



현재 한국해양수산개발원 항만연구본부 전문연구원으로 재직 중이다. 동아대학교 경영정보학과에서 학사 및 석사, 박사 학위를 취득하였으며, University of Arkansas at Little Rock에서 Post-Doctor로 재직하였다. 주요 관심분야는 에이전트시스템, 의사결정지원시스템, 최적화 방법론, 공급사슬관리, 차량경로문제, 항만물류 등이다.

### 최형림(Choi, Hyung-Rim)



현재 동아대학교 경영정보과학부 교수로 재직 중이다. 서울대학교에서 경영학 학사, KAIST 경영과학과에서 석사 및 박사학위를 취득하였다. 주요 관심분야는 에이전트 시스템, 항만물류시스템, 자동화컨테이너터미널, 의사결정지원시스템, RFID/USN 등이다.

### 김성관(Kim, Sung-Kwan)



현재 University of Arkansas at Little Rock 경영학과 교수로 재직 중이다. 경희대학교에서 학사, University of Missouri at Columbia에서 석사, 그리고 University of Nebraska at Lincoln에서 박사학위를 취득하였다. 주요 관심분야는 지식관리, 온톨로지, 의사결정지원시스템, 해운물류 등이다.

<Abstract>

## Research on Agent System for Dynamic Maritime Transportation Planning

Kang, Moo-Hong · Choi, Hyung-Rim · Kim, Sung-Kwan

The most of international shipping cargoes are transported by ship and the shipping market has been continuously increasing. However, due to the recent global recession, the volume of trade decreased accordingly, and the competition between shippers to gain a competitive advantage in the shipping market continues deepening. To do this, researches on transportation costs savings as well as ways to improve customer service are needed and recently related researches are being pursued. Car carriers which transport more than 80% of car import and export volume in the world also make a lot of effort in order to reduce transportation costs, but in contrast related researches are seldom fulfilled. In this study, we developed an agent system that supports the efficient transportation of car carriers plan so that the car carriers can increase competitiveness through reduction of the logistics costs. To make this, we researched an algorithm for maritime transportation planning, and also developed a prototype of an agent system which can collect the necessary information in real time and establish a dynamic plan.

**Keyword** : Car Carriers, Maritime Transportation, Routing Problem, Agent System

\* 이 논문은 2012년 10월 19일 접수되어 1차수정(2012년 11월 1일)을 거쳐 2012년 11월 5일 게재 확정되었습니다.