

## 무인선박의 항해시스템을 위한 항로계획 기법

# An Route Planning for the Navigation System of Autonomous vessel

조재희, 지민수, 김용기

Jae-Hee Cho, Min-Su Ji, and Yong-Gi Kim

경상대학교 컴퓨터과학과 및 기초과학연구소

### 요약

선박의 안전 운항과 운항 경비의 절감을 위해 선박의 운항 자동화 및 지능화 기술이 요구된다. 선박의 자동화를 위해서는 GPS와 전자해도에 기반한 항해시스템의 항로 계획이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 항해시스템의 자동화된 항로 계획을 위해 장애물의 점점 산출 기법과 이를 이용한 트리 생성 기법, 그리고 생성된 트리 구조를 기반으로 한 항로 산출 기법을 제안한다. 제안한 항로 산출 기법의 효율성 검증을 위해 최적화 관점에서 대표적 항로 계획 기법인 A\*기법과 비교·분석한다.

### Abstract

For the safety and cost reduction of the navigation in the sea, we need automatic and intelligent system for the ship. For the ship automation, we need a route planning based on GPS and the nautical chart. In this paper, we propose a route planning technique using point of contact of the obstacle and treerecreation technique. The efficiency of the proposed technique is proved by comparing with A\* search technique that is the most famous search technique for route planning from the optimal point of view.

**Key words** : route planning, intelligent navigation system, ship, A\* algorithm

## 1. 서론

선박의 충돌 및 좌초로 인한 재난 사고는 인명과 재산상의 손실을 초래할 뿐 아니라 승무원의 승선 기피현상을 야기시키고 있다. 이러한 인력 부족 현상의 해결뿐 아니라 선박의 안전한 운항을 위해서도 운항의 자동화에 대한 요구가 증가되고 있다[1][2].

선박의 운항 자동화를 위해서는 자동화 된 항해시스템(intelligent navigation system)이 요구된다. 이는 항해 전문가의 지식을 저장, 관리하여 그것을 기반으로 항해 전문가의 임무를 대신할 수 있는 항해시스템을 의미한다. 항해시스템은 항해 시작점에서 목표 지점까지 안전하고 효율적인 이동을 보장하기 위해 경로를 설정하여 정해진 경로를 따라 항해하도록 하는 시스템을 말하여 이는 세부적으로 항로를 설정하는 항로 계획 기능과 선박이 설정된 항로를 유지하며 항해하는지를 감시하는 항로 감시 기능을 가진다. 하지만 항해시스템은 단지 항해 전문가의 경유점 입력에만 의존하여 계획되고 시스템은 입력된 정보만을 관리하고 있는 상황으로 완전 자동화되지 못하고 있는 실정이다.

항로 계획은 선박의 운항 전 또는 선박이 항로를 크게 이탈하여 재 계획이 요구될 시에 항해 전문가의 오랜 항해 지식을 기반으로 하여 선박의 안전과 경제성을 목표로 이루어진다. 항로 계획의 자동화를 위해 효과적인 검색 기법의 적

용이 가장 필요하며 대표적인 기법으로는 격자 좌표 기반 A\* 탐색기법을 이용한 항로 계획 기법[3][4][5], 유전자 알고리즘을 이용한 항로 계획 기법[6][7], 퍼지관계곱[8][9], 폴리선 기능을 응용한 항로 계획 기법[10] 등이 있다. A\*탐색기법은 항로 계획 기법 중 가장 많이 사용되는 기법으로, 이는 격자 기반으로 구현되어지며, 최단거리 확보가 이미 증명되고 구현이 간단하다는 장점을 가진다. 그러나 격자를 기반으로 한 항로 계획 기법은 적용된 격자의 크기에 따라 전자해도상의 물체의 모양 및 크기가 다르게 왜곡되며, 그에 따라 항로 계획 결과가 격자의 크기에 따라 다르게 산출되는 단점이 있다.

본 논문에서는 A\*탐색기법의 단점을 보완할 수 있는 새로운 항로 계획 기법을 제안한다. 제안된 기법은 장애물 점점과 경유점 트리를 이용한 항로 계획(RCT, Route Planning Using the Point of Obstacle Contact And Waypoint-Tree)기법으로 이는 항로 계획 시 이루어지는 장애물 회피를 위해 장애물과 임시 경로사이의 점점을 산출하며, 산출된 각 장애물들의 점점들을 연결하여 경유점 트리(tree)[11]를 생성한다. 그리고 생성된 경유점 트리(WT, Waypoint Tree)는 깊이 우선 탐색을 통해 최적의 항로를 산출하게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2절에서는 본 연구에서 제안하는 항로 계획 기능을 포함하는 항해시스템의 구조 및 기능에 관해 살펴보고, 제 3절에서는 기존의 자동 항로 계획 기법인 격자기반 A\*탐색기법을 이용한 항로 계획 기법, 제 4절에서는 본 논문에서 제안하는 RCT기법에 대해 다룬다. 그리고 제 5절에서는 A\*탐색기법을 이용한 항로 계획 기법과 RCT기법을 비교 및 평가하며 마지막으로 제 6절에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해 살펴본다.

접수일자 : 2004년 12월 30일

완료일자 : 2005년 8월 3일

감사의글 : 본 연구는 ADD 2003 대학기초연구의 지원을 받았습니니다.

## 2. 항해시스템

### 2.1 일반적인 선박의 항해시스템

현재까지 선박을 위한 항해시스템은 운항 시 항해 전문가의 업무를 보조하며 항해 전문가로부터 입력된 정보와 기반이 되는 정보를 관리하는 수준이다. 그림 1은 일반적인 선박의 항해시스템 구성도를 보이고 있다. 이러한 선박의 항해시스템은 그 핵심 기능인 항로 계획 기능이 자동화되지 않음으로 해서 완전한 자동화를 이루었다고 볼 수 없다[12].

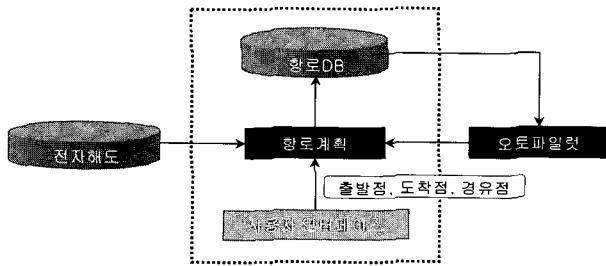


그림 1. 선박의 항해시스템 구성도

Fig. 1. Architecture of Ship's navigation system

### 2.2 자동화된 항해시스템

최소한의 인적 자원으로 선박을 운반하기 위해서는 자율 운항 제어 시스템을 필요로 한다. 자율 운항 제어 시스템은 선박의 운항에 있어 항해 전문가의 지식을 저장, 관리하여 그것을 기반으로 항해 전문가의 임무를 대신 수행할 수 있는 기술을 보유한 시스템으로 선박의 자동화를 위한 핵심 기술이다.

#### 가. 외부 시스템과의 연동

항해시스템은 RVC(Reactive Virtual Cognitive)모델[13]을 기반으로 표현된 자율 운항제어 시스템 내에 배치된다. 자율 운항 제어 시스템은 항해시스템, 충돌회피시스템, 선체 유지시스템, 손상제어시스템, 자료융합시스템으로 구성되며, 각 시스템의 입·출력 데이터는 '가상세계'라고 명명되어진 공유 정보 저장 영역에 저장되어 서로 공유된다. 항해시스템에서 계획된 항로 경유점 정보 중 다음 시간에 가야할 경유점 정보를 가상세계를 통해 충돌회피시스템에 제공하고 충돌회피시스템은 충돌회피 종료 상황을 항해시스템에 제공하여 항로를 재 감시하도록 유도한다.

그림 2는 자율운항시스템에서 RVC 모델 기반의 항해시스템과 외부시스템의 연동 구조를 보여준다.

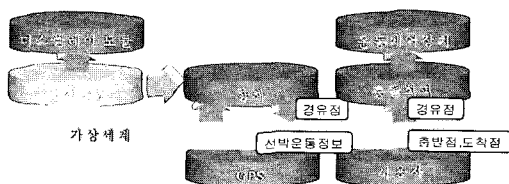


그림 2. 항해시스템과 외부 시스템과의 연동

Fig. 2. Connection between navigation system and external system

#### 나. 항해시스템의 구조 및 기능

항해시스템은 선박의 운항 전에 항해 전문가로부터 항해

지식을 획득하여 지식베이스를 구축하고, 대화형 시스템으로서 항해 전문가와의 질문 및 응답을 위주로 하여 사용자의 의견을 수렴하는 특성을 가진다. 그림 3은 지식기반 항해시스템의 구성을 보여준다.

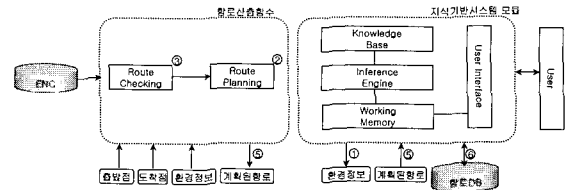


그림 3. 지식기반 항해시스템 구성도

Fig. 3. Architecture of knowledge-based intelligent navigation system

항해시스템은 지식베이스, 전자해도, 출발지점, 도착지점과 같은 입력정보를 기반으로 항로 계획(route planning)기능과 항로 감시(route monitoring) 기능을 가진다. 지식베이스는 선박의 현재 위치정보, 기상정보, 선박의 환경정보치(VSE, Value of Ship's Environment) 등을 고려하여 구축되어지며, 이러한 지식베이스를 기반으로 항로 계획과 항로 감시 모듈을 호출한다. 이러한 과정을 통하여 항해시스템은 계획된 항로 정보와 현재 위치에서 선박이 향할 다음 위치 정보를 출력하게 된다.

자동화 된 항해시스템의 항로 계획은 전자해도 상에 선박의 운항전이나 선박이 크게 항로 이탈 시에 선박이 출발 지점부터 도착 지점까지 운항하게 될 항로를 경유점(waypoint)을 지정함으로써 계획하는 기능을 의미한다. 항로 감시는 선박이 운항중일 때 GPS로부터 수신된 선박의 현재 위치와 경유점으로 계획된 항로를 비교하여 선박이 항로대로 운항하는지를 감시하고, 계획된 항로상에 기상 악화로 인한 장애가 발생하는지에 대해 감시하는 기능을 의미한다. 그림 4는 항해시스템의 항로 계획 기능을 수행하는 과정을 보여준다.

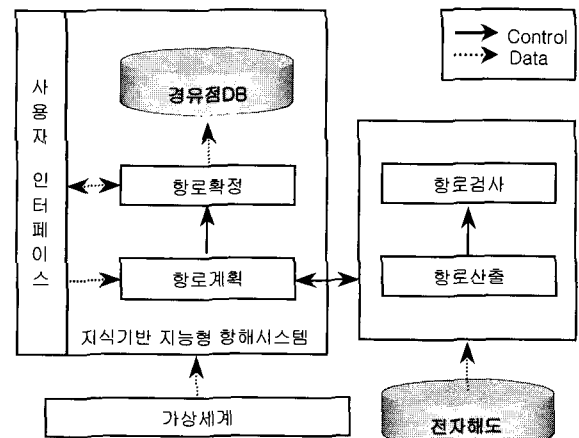


그림 4. 항로 계획 구성도

Fig. 4. Architecture of Route Planning

항로 감시는 선박이 운항 중에 항로를 항시 감시하여 충돌회피시스템에 다음 경유점을 제시하는데 이는 RVC 모델의 가상세계를 통하여 이루어진다. 그림 5는 지식 기반 항해시스템의 항로 감시 기능이 수행되는 세부과정을 보인다.

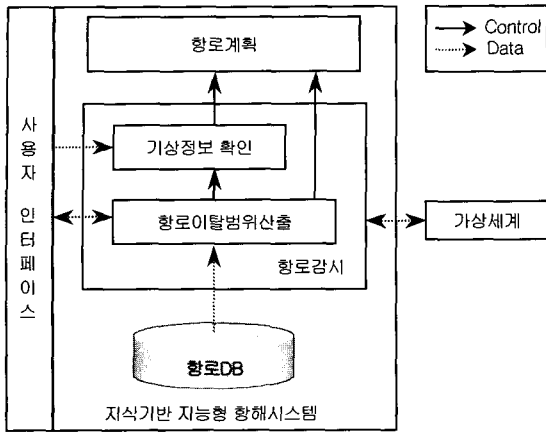


그림 5. 항로감시 구성도  
Fig. 5. Architecture of Route Monitoring

3. A\*탐색기법을 이용한 항로 계획 기법

항해시스템의 자동항로 계획을 위해 다양한 인공지능 기법이 응용되고 있다[12][14][15][16]. 본 절에서는 다양한 인공지능 기법 중 자동 항로 계획 분야에서 가장 널리 쓰이는 A\*탐색기법을 이용한 항로 계획에 대해 다룬다.

A\*탐색기법을 이용하여 목표지점을 찾아가는 방법은 기본적으로 그림 6에서 보는 것과 같이 출발지점 S로부터 현재 지점 P까지의 거리(Distance(S to P))와 현재지점 P로부터 목표지점 G까지의 거리(Distance(P to G))의 합이 최소인 지점을 선택하거나 다음 이동 위치 선택 시 필요한 다른 사항을 고려하여 최적의 지점을 탐색해 가는 방법이다.

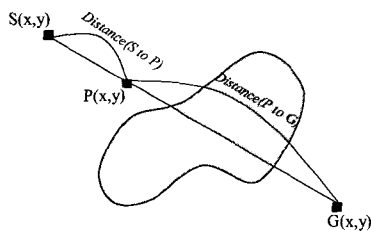


그림 6. A\*탐색기법을 이용한 목표지점 찾기  
Fig. 6. Searching goal position using A\* search technique

A\*탐색기법을 이용한 항로 계획은 격자 좌표를 기반으로 이루어지는 기법으로 출발지점부터 목표지점 사이에 일정 크기의 격자로 후보노드를 생성하고, 그들 중 최적의 평가함수(evaluation function) 값을 갖는 노드를 탐색하여 항로를 계획한다. 이때 평가함수는 선박의 현재 진행 방향, 장애물로부터의 거리, 목표 지점과의 거리 등 항로 탐색 시 고려되어야 할 사항을 수치로 표현하는 함수이다.

격자 좌표 기반 A\*탐색기법을 이용한 항로 계획에서는 그림 7과 같이 전자해도상의 장애물의 실제 크기나 모양이 격자에 의해 왜곡되고, 그로 인해 항로 산출 결과가 격자의 크기에 따라 다르게 나타난다는 문제점이 발생한다.

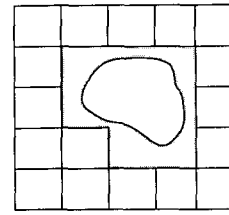
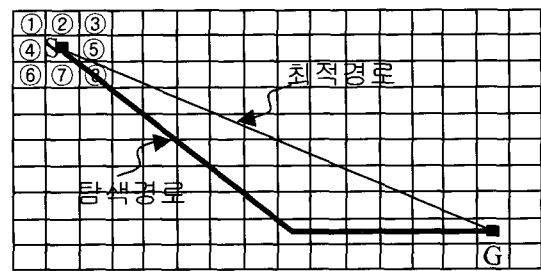


그림 7. 장애물 확장(격자기반)  
Fig. 7. Grid\_based obstacle expanding

또한 그림 8과 같이 현재의 노드에서 인접한 8 방향의 노드들만을 고려하여 탐색하므로 최적 항로를 탐색하지 못하는 문제도 발생한다.[4]



※ S 주위의 숫자는 S 위치에서 존재하는 각 후보 노드들에 번호를 부여한 것임

그림 8. A\*탐색기법 적용 시 항로 계획의 문제점  
Fig. 8. Problem of A\* search technique in route planning

이외에 격자 좌표 기반 A\*탐색기법을 이용한 항로 계획 시 격자의 크기가 너무 작게 설정되었거나 골이 깊은 장애물을 만나는 경우 불필요한 노드의 탐색이 많아져 메모리 부족 현상이 발생하고 수행시간이 연장된다는 문제가 발생한다[4].

격자 좌표 기반 A\*탐색기법을 이용한 항로 계획의 단점을 보완하기 위해서는 오래 경험을 쌓아 숙달된 시스템 설계자에 의해 일반 장애물의 왜곡 정도가 가장 적고 수행시간이 적당한 크기의 격자가 결정되어야 한다. 또한 골이 깊은 장애물을 탐색하게 될 경우를 예방하기 위하여 탐색 이전에 장애물의 골을 제거해주는 등의 선처리 작업이 필요하다.

4. 장애물 접점과 경유점 트리를 이용한 항로 계획(RCT)기법

장애물 접점과 경유점 트리를 이용한 항로 계획(RCT, Route Planning Using the Point of Obstacle Contact And Waypoint-Tree) 기법은 항로 계획 시 이루어지는 지형 장애물 회피를 위해 장애물과 임시 항로 사이의 접점을 산출하며, 산출된 각 장애물들의 접점들을 연결하여 경유점 트리(tree)를 생성한다. 그리고 생성된 경유점 트리(WT, Wapoint Tree)를 기반으로 최적 항로를 산출한다. RCT 기법의 전반적인 처리 과정은 그림9와 같다.

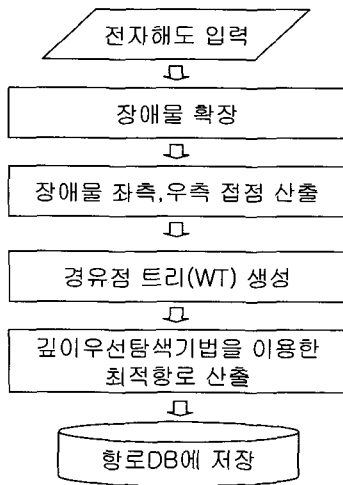


그림 9. RCT 항로 계획 순서도  
Fig. 9. Flowchart of RCT route planning

가. 장애물 확장

RCT기법에서는 먼저 전자해도 상에 표현된 장애물에 대해 그림 8과 같이 안전거리를 확보하는 장애물 확장(Obstacle-growing)개념[17]을 적용한다. 이는 선박 운항시 안전한 항로를 확보하기 위한 방법으로, 항로 계획 시 계획된 항로가 장애물과 만나더라도 이미 안전거리가 확보되어 있으므로 위험상황의 발생을 최소화한다.

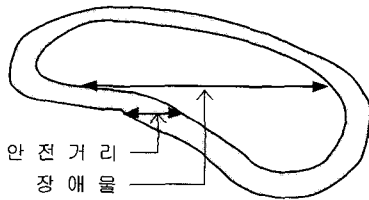


그림 10. 확장된 장애물  
Fig. 10. Expanded obstacle

나. 장애물의 좌측·우측 접점 산출

본 기법의 두 번째 단계로, 임시 경유점 사이에 장애물이 존재할 경우 출발점과 목표점의 직선을 기준으로 하여 장애물의 왼쪽 접점과 오른쪽 접점을 산출한다. 산출된 접점은 경유점 트리의 노드로 사용되어지며 이러한 노드의 구조는 그림 11과 같다. 이때 P1, P2, P3, P4는 다음 노드를 가리키는 포인트로서 순서대로 출발점과 좌측 접점 사이의 장애물 노드의 위치, 목표점과 좌측 접점 사이의 장애물 노드의 위치, 출발점과 우측 접점 사이의 장애물 노드의 위치, 목표점과 우측 접점 사이의 장애물 노드의 위치를 가리키게 된다.

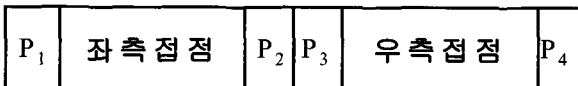


그림 11. 장애물 노드의 구조  
Fig. 11. Structure of an obstacle node

그림 12는 장애물 접점을 이용하여 산출된 좌측 항로와

우측 항로의 예를 보이며 이때 산출된 장애물 노드는 그림 13과 같다. 전자해도 상에 표현된 한 장애물을 회피할 때 출발지점 S를 지나는 직선과 장애물이 접했을 때 생기는 좌측 접점 Ls와 우측 접점 Rs 그리고 목표지점 G를 지나는 직선과 장애물이 접했을 때 생기는 좌측 접점 Lg와 우측 접점 Rg를 산출한다. 다음으로 Ls와 Lg사이의 경유점들을 이용하여 좌측항로를 산출하고 Rs와 Rg사이의 경유점들을 이용하여 우측항로를 산출한다.

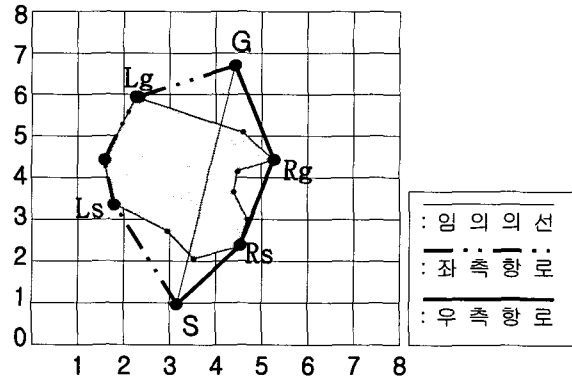


그림 12. 접점을 이용한 좌우 항로  
Fig. 12. Left and right routes using point of contact

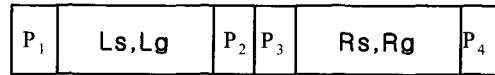


그림 13. 그림12의 장애물 노드  
Fig. 13. Obstacle node of Fig. 12.

다. 경유점 트리 생성

RCT기법에서는 둘 이상의 장애물을 접하였을 경우 앞에서 생성된 장애물 노드를 이용하여 경유점 트리(WT, Waypoint Tree)를 생성한다. 경유점 트리를 생성하는 알고리즘은 표1과 같다.

표 2. 경유점 트리 생성 알고리즘  
Table 1. Waypoint tree creation Algorithm

1. S ← 출발점, G ← 도착점
2.
  - 2.1 장애물이 존재하면 3번으로 이동
  - 2.2 그렇지 않으면 9번으로 이동
3. 장애물노드를 생성하여 경유점 트리의 루트로 만들
4. 임시 목표점 Gi ← Ls
  - 4.1 장애물이 존재하면 장애물노드를 구성한 후 경유점 트리에 삽입
5. 임시 목표점 Gi ← Rs
  - 5.1 장애물이 존재하면 장애물노드를 구성한 후 경유점 트리에 삽입
6. 임시 출발점 Si ← Lg
  - 6.1 장애물이 존재하면 장애물노드를 구성한 후 경유점 트리에 삽입
7. 임시 출발점 Si ← Rg
  - 7.1 장애물이 존재하면 장애물노드를 구성한 후 경유점 트리에 삽입
8. 임시 목표점과 임시 출발점사이 장애물이 존재하면 4번으로 이동.
9. 종료

그림 15는 그림 14와 같은 장애물을 접하였을 경우 경유점 트리를 생성하는 예를 보여준다.

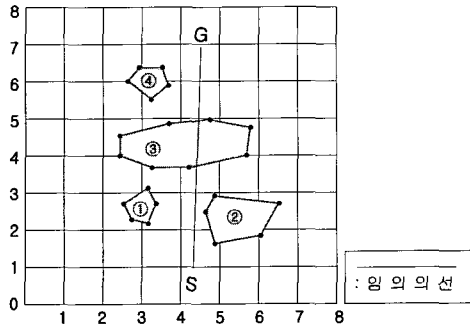


그림 14. 둘 이상의 장애물이 존재하는 해도  
Fig. 14. The chart with more than two obstacles

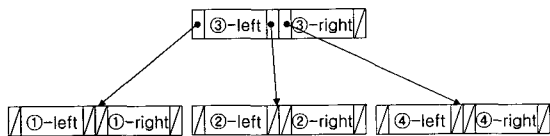


그림 15. 경유점 트리(WT)  
Fig. 15. Waypoint tree

경유점 트리를 사용함으로써 얻을 수 있는 이점은 다음과 같다.

첫째, 경유점 트리(WT)를 생성하면 출발지점 S와 목표지점 G사이 에 존재하는 모든 장애물들 중 실제 항해에 영향을 미치는 장애물들만 추출할 수 있다. 둘째, 출발지점 S에서 목표지점 G로 갈 수 있는 모든 항로를 산출하기 위한 최소한의 정보만 경유점 트리(WT)에 저장된다는 것이다. 즉 출발점과 목표점 사이의 모든 항로에 대한 고려할 필요가 없으므로 효율적이다.

라. 깊이 우선 탐색을 통한 최적 항로 산출

위에서 생성된 경유점 트리는 깊이 우선 탐색(depth-first search)[11]기법을 이용하여 탐색된다. 탐색된 경로 중 길이의 합이 최소인 경로를 선정하여 최적의 항로를 산출하며, 산출된 경로는 RVC기반 가상세계의 항로DB에 저장되어 외부의 다른 시스템과 공유되어진다.

그림 16은 그림 14의 해도에 RCT기법을 적용시킨 결과를 보인다.

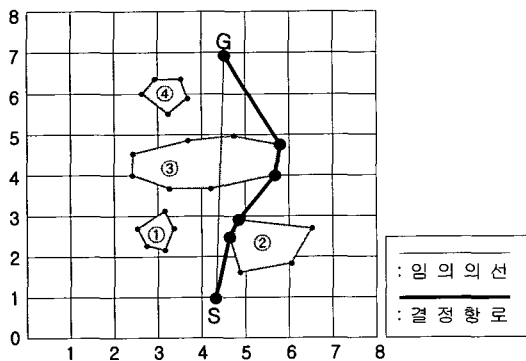
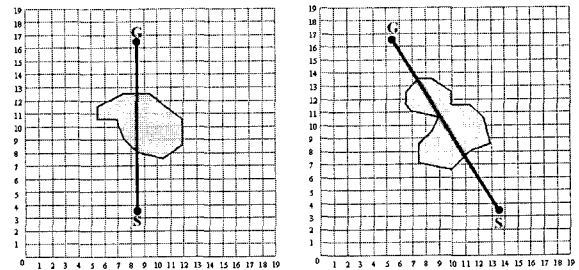


그림 16. RCT 기법을 이용하여 산출된 최적항로  
Fig. 16. An optimal route produced using RCT

## 5. 비교 및 평가

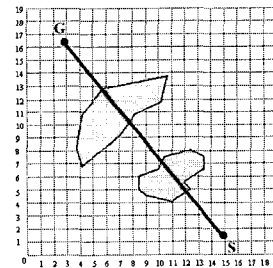
본 절에서는 항로 계획 기법의 대표적인 기법인 A\*탐색기법과 RCT기법을 적용하여 좌표상의 특정 출발 지점에서 목표 지점까지의 항로를 계획하고 그 결과를 비교함으로써 RCT기법의 최적성(Optimality)을 증명한다. 본 시뮬레이션에서 장애물의 집점은 전자해도의 표준인 S-57[18]에 정의되어 있는 좌표쌍[19]을 근거로 하여 산출하였으며, 동일한 항해 속도를 유지하였다고 가정하였을 경우 각 기법의 총 항로 길이와 경유점 수를 비교함으로써 어느 기법이 더 효율적인가를 분석한다. 항로계획은 미리 안정성이 확보된 후에 실시하므로 선장의 숙련도에 따라서 조류나 굴곡의 정도에 따라 속도를 조정하여야 하는 경우는 경로계획 대상에서 제외된다.

먼저 가상 해도상에서는 서로 다른 네 가지 종류의 시나리오를 설정한다. 그림 17에서 보여지는 것처럼 시나리오 #1과 시나리오 #2는 가상 해도 상에 각각 한 개의 장애물을 가지며, 나머지 시나리오 #3과 시나리오 #4는 각각 두 개, 세 개의 장애물을 가진다. 표 4에서는 시나리오#1부터 시나리오#4까지 A\*탐색기법과 RCT기법들을 적용하여 산출한 항로 계획 결과에서 총 항로 길이와 경유점 수를 비교한 결과를 보인다.

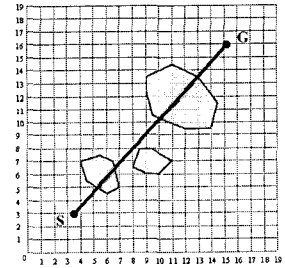


시나리오 #1

시나리오 #2



시나리오 #3



시나리오 #4

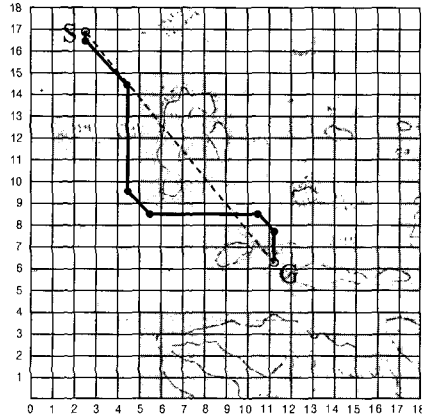
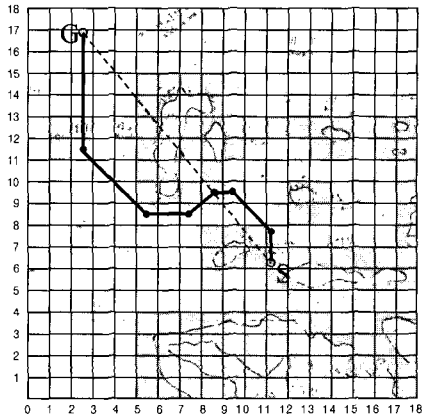
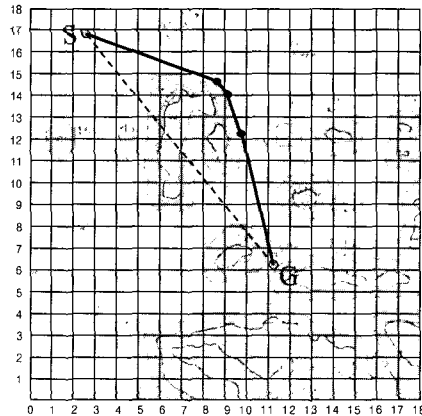
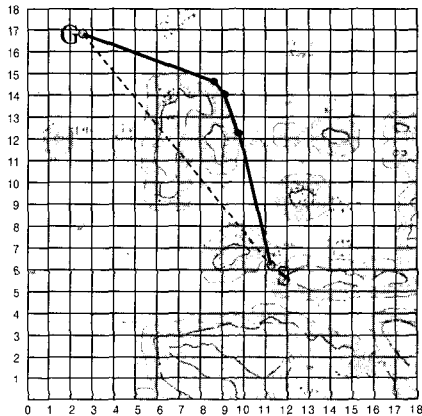
그림 17. 각 기법의 비교 평가에 사용한 시나리오들  
Fig. 17. The scenarios for comparing each technique

표 2. 항로 계획 결과 비교

Table 2. Comparison of the results of each technique

시나리오 (장애물 수)	적용 기법	총 항로 길이	경유점 수
시나리오#1 (1)	A*	88.78	8
	RCT	75.12	4
시나리오#2 (1)	A*	68.32	8
	RCT	61.25	4
시나리오#3 (2)	A*	104.28	10
	RCT	89.45	4
시나리오#4 (3)	A*	93.64	8
	RCT	77.51	5

표 3. 실제해도에서 각 기법들을 비교한 결과  
Table 3. Comparison of the results of each technique in real chart

기법	시나리오 #5	시나리오 #6
A*		
RCT		

시나리오	적용 기법	총 항로 길이	경유점 수
시나리오#5	A*	59.5	5
	RCT	52	3
시나리오#6	A*	61.4	6
	RCT	52	3

실제 해도에서 두 기법의 비교한 결과는 표 3에서 보인다. 시나리오 #5와 시나리오 #6은 동일한 해도에서 출발지점과 목표지점이 서로 반대이다.

표 2의 평가 결과를 보면 RCT기법을 이용한 항로 계획이 격자 기반 A\*탐색기법을 이용한 항로 계획보다 총 항로 길이의 합이나 경유점 수에서 더 최적화된 항로를 산출하는 결과를 보인다. 특히 실제 해도에서 성능을 평가한 표 3을 보면 A\*탐색기법의 경우 동일한 해도에서 단지 출발지점과 목표지점의 위치만 서로 반대로 되는 상황에서 총 항로 길이는 물론 경유점 수도 서로 다르게 산출된다. 하지만 본 논문에서 제안하는 RCT기법의 경우 A\*탐색기법보다 최적화된 항로를 산출할 뿐만 아니라 시나리오 #5와 시나리오 #6에서 총 항로 길이와 경유점 수가 동일하게 산출되는 결과를 보인다. 이를 통해 제안된 기법은 A\*탐색기법을 이용한 항로 계획보

다 시간 효율성 측면과 에너지 경비 관점에서 항로 계획에 더 적합한 기법임을 알 수 있다.

## 6. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 항해시스템의 자동화된 항로 계획을 위해 장애물 점점과 경유점 트리를 이용한 항로 계획(RCT)기법을 제안하였으며 자동 항해 기법으로 널리 사용되는 격자 기반 A\*탐색기법과 비교함으로써 더 효율적인 항로 산출 기법임을 검증하였다.

제안된 기법은 시뮬레이션을 통해 A\*탐색기법을 이용한 항로 계획보다 총 항로 길이와 경유점 수에서 더 나은 결과를 보임으로써 시간 효율성 측면과 에너지 경비 관점에서 항

로 계획에 더 적합한 기법임을 확인하였다.

본 연구에 이어 향후에 이루어져야 할 과제는 다음과 같다. 첫째, 최적 항로 결정 기준에 총 항로 길이와 경유점 수 뿐만 아니라 승조원의 능숙도, 해로의 좁은 정도 그리고 와류의 위치 등과 같은 복합적인 정보를 고려하는 전문가 시스템과 연계해야 할 것이며 둘째, 전자해도 상의 장애물 인식에 대한 다양한 연구가 이루어져야 할 것이다.

### 참고 문헌

[1] D. Blidberg, "Autonomous underwater Vehicle: current activities and research opportunities", *Intelligent Autonomous Systems*, pp. 51-64, 1989

[2] D. Steiger "Autonomous undersea vehicle technology development in the US: an update", *UDT proc.*, pp.11-14, 1994

[3] Szczerba, Robert J. "Robust Algorithm for Real-Time Route Planning", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* Vol. 36, No. 3 July 2000.

[4] 하희천, 전자해도를 이용한 최적항로결정시스템에 관한 연구, *한국해양대학교*, 1997, 2.

[5] S. Al-Hasan and G. Vachtsevanos, "Intelligent route planning for fast autonomous vehicles operating in a large natural terrain", Volume 40, Issue 1, Pages 1-24, 2002

[6] Andreas C. Nearchou, "Adaptive Navigation of Autonomous Vehicles Using Evolutionary Algorithms", *Artificial Intelligence in Engineering* 13, 1999.

[7] Sunshil J. Louis, "Multiple Vehicle Routing With Time Windows using Genetic Algorithms", *IEEE*, 1999

[8] Le-Diem Bui, Yong-Gi Kim, "A New Approach of BK products of Fuzzy Relations for Obstacle Avoidance of Autonomous Underwater Vehicles", *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol.4, no.2, September 2004, p135-141

[9] Young-il Lee, Yong-Gi Kim, "Collision Avoidance System for Autonomous Ship using Fuzzy Relational Products and COLREGs", *Lecture Notes in Computer Science, Intelligent Data Engineering and Automated Learning-IDEAL 2004*, p247-252, 2004. 08.26

[10] 박정선, 김창민, 김용기, "지능형 항해를 위한 응용 폴리선 항로 계획, 한국정보처리학회", *춘계학술발표 논문집 8권1호*, pp. 321-324, 2001.

[11] Horowitz, E., Sahni, S., *Data Structures in Pascal(Fourth Edition)*, Computer Science Press.

[12] Ong, Seow Meng, "A Mission Planning Expert System with Three-Dimensional Path Optimization for the NPS Model 2 Autonomous Underwater Vehicle", *Naval Postgraduate School, Monterey, California* June 1990.

[13] 김용기, 지능형 자율운항제어기술, *국방과학연구소 보고서*, 2002, 12.

[14] Louis, Sunshil J., "Multiple Vehicle Routing With Time Windows Using Genetic Algorithms", *IEEE*,

1999.

[15] Kallgren, Laban, "Real-time replanning of mission routes based upon threats", *Master thesis, Linkoping University*, 5th of January 2001.

[16] Wilfong, G.T. "Motion planning for an autonomous vehicle", *In Proceedings of the IEEE international Conference on Robotics and Automation*, 1988, pp. 529-533.

[17] Lozano-Perez, T., and Wesley, M. A., "An Algorithm for Planning Collision Free Paths among Polyhedral Obstacles," *Communications, v. ACM-22* (10), pp. 560-570, 1979.

[18] S-57 Maintenance document, IHO, 2000.

[19] 박필성, 전자해도의 교환용 표준에 관하여(I) -S-57 제 2판-, *Ocean Research* 19(1): 43-53, 1997.

### 저자 소개



**조재희 (Jae-Hee Cho)**

1994년 : 경상대학교 컴퓨터학과 (이학사)

1998년 : 경상대학교 컴퓨터학과 (공학석사)

2004년~현재 : 경상대학교 컴퓨터학과 박사과정

관심분야 : 퍼지시스템, 자율항해시스템  
E-mail : candy@ailab.gsnu.ac.kr



**지민수 (Min-Su Ji)**

2003년 : 경상대학교 컴퓨터학과 (공학사)

2003년~현재 : 경상대학교 컴퓨터학과 석사과정

관심분야 : 퍼지시스템, 지식기반시스템, 자율항해시스템



**김용기 (Yong-Gi Kim)**

1978년 : 서울대학교 공과대학(공학사)

1987년 : University of Montana 전산학과(MS)

1991년 : Florida State University 전산학과(Ph.D)

1982년~1984년 : KIST 연구원

1992년~현재 : 경상대학교 컴퓨터학과 교수

관심분야 : 퍼지시스템, 지능시스템, 무인수중로봇, 자율항해 시스템  
E-mail: ygkim@gsnu.ac.kr