

전자해도 상의 항해계획 알고리즘 구현에 관한 연구

위승민** · 김시화* · 장일동**

On the Implementation of Route Planning Algorithms on the Electronic Chart System

*Seung-Min Wee** · Si-Hwa Kim* · Il-Dong Chang***

| 〈목 | 차〉 |
|----------------------|--|
| Abstract | 제4장 항해 계획(Route Planning) Algorithm 의 분석 및 개발 |
| 제1장 서론 | 제5장 항해 계획 알고리즘의 구현 및 검토 |
| 제2장 ECDIS와 항해계획 알고리즘 | 제6장 결론 |
| 제3장 항해계획과 항법의 개요 | |

Abstract

The advent of electronic navigation equipment and trustworthy computer which provides people with convenience made the management system by one-man bridge operation or the least people who are needed possible through the integration of communication network with various navigation equipment and related institution. One of the most needed ultra-modern navigation device for a mate, ECDIS is a core equipment for navigation in ENS that notifies peril to mate as well as supervises all tasks in hydrographical chart, voyage planning, course monitoring and voyage recording.

We should make coast and ocean voyage planning first, for the secure navigation which is considering the course circumstances and next, for the reduction of voyage dates in economical aspect. There needs a thoughtful consideration about the feature of the ship itself and the course with weather condition in taking up the course and also we have to take into accounts about appropriate distance between ships. Considering the essential conditions of ECDIS the indispensable device in the future, it was developed the basic principle for voyage planning algorithm for officer and programmed to real implementation available.

In this paper including most of the requirements in ECDIS performance standard I mentioned about such a basic and a core principle with real application by using the Visual C++ programming language.

* 한국해양대학교 해사수송과학부 교수
** 한국해양대학교 대학원 박사과정 수료

The voyage plan includes the function that indicate and modifies all the way points in the course from department port to arrival port with erasing the wrong way points. Also, it provides in a document form that shows ETA at glance in average speed sailing.

제1장 서론

선박의 출현과 항해라는 개념이 사용된 이래로 오랜 세월 동안에 항해 기술은 조금씩 발전해 왔다. 그러나 컴퓨터의 출현과 전자 항해 장비의 등장은 종합항법장치라는 용어와 함께 여러 가지 항해 기능을 가진 장비들과 기관 장비 및 통신 네트워크 장비 등을 통합해 가고 있는 추세이다. 항해사들에게 필요한 최첨단 항해 장비중의 한가지인 ECDIS(Electronic Charts Display and Information System)는 전자해도 상에서 이루어지는 모든 업무와 항해계획, 항로감시 그리고 항적을 기록하고 관리하는 기능뿐만 아니라 항해사에게 위험을 알려주는 기능까지도 포함하는 종합항법장치에서 항해 부분의 핵심적인 장비이다. ECDIS는 각국 정부가 공인하는 ENC(Electronic Navigational Charts) 해도를 사용해야 하고 엄격한 성능 기준에 도달해야 한다. 이에 대해 ECS(Electronic Charts System)는 미국의 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime services)에서 작성한 표준안을 사용해서 만든 사적(私的)인 전자해도로서 ECDIS가 요구하는 성능요건을 만족하지 않아도 되는 일반적인 전자해도이며 ECDIS를 보조하거나 항해 업무를 도와주는 목적으로 사용할 수 있는 장비이다. 이러한 전자해도 시스템은 항해에 필요한 경위도 자료를 이용하여 항정 및 침로를 자동으로 표시해주고 항로를 감시하며 위험 상황에 대한 경보를 알려주므로 항해사들에게는 아주 유용한 소프트웨어라고 할 수 있다.

ECDIS란 여러 가지 항해계기를 통해 입력된 모든 자료를 통합해서 전자해도상에 표시해줌으로 항해사들이 유용하게 사용할 수 있도록 설계된 일련의 장비 및 소프트웨어를 모두 포함하여 부르는 명칭이다.

IMO(International Maritime Organization)는 IHO(International Hydrographic Organization), ISO(International Standard Organization) 및 IEC(International Electrotechnical Committee) 등 국제기관들이 HGE(Harmonization of Group on ECDIS)를 구성하여 오랜 기간동안 해상안전이나 구현 기술 및 법적인 모든 문제를 협의하여, SOLAS(Safety Of Life At Sea) 제5장 20절 규정에서 선교에 반드시 비치하도록 한 해도와 항해 관련 서지를 대신하여 ECDIS 장비로 대체할 수 있도록 하는 ECDIS의 성능 표준안을 IMO 19차 총회(Res.817)에서 1995년 11월 23일에 채택하였다.

이런 IMO의 ECDIS에 대한 인준은 여러 가지의 문제점에도 불구하고 선박자동화 기술의 발전과 함께 보편화되고 있는 종합항법장치의 법적 기준이 마련되고 ECDIS의 성능 기준과 그 사용에 관한 법적인 문제를 인정하였다는 점에서 큰 의의가 있다고 하겠다.

본 논문에서는 이러한 ECDIS 상에서 실행되어야 하는 기본적인 항해 계획 알고리즘의 구현방법을 다루려고 한다. 항해 계획 알고리즘이란 출발 항구로부터 도착 항구까지의 항로를 계획하고 수정할 수 있는 기능과 계획항로상의 모든 변침점과 연속되는 변침점간의 침로 및 항정 그리고 전체의 항정 등을 적절히 표시하는 기능을 구현하기 위해 필요한 것이다.

제2장 ECDIS와 항해계획 알고리즘

2.1 ECDIS와 그 성능 요건

ECDIS의 표준성능은 간단하고 신뢰할 만한 방법으로 항해계획과 항로감시가 이루어져야 하고 사용자가 편리하게 ECDIS를 조작하기 위해 인체공학적인 원칙으로 설계되어야 한다고 정의하고 있다. 항

해계획시에 주어진 해역의 대축척 SENC(System Electronic Navigational Charts)상에서 사용중인 자료는 항해 금지구역이나 안전등심선보다 낮은 수심 위에 항로가 설정 될 경우 항해사에게 경보나 화면경고표시를 나타내 주어야한다.

IMO, IHO, ISO 및 IEC 등의 국제기관들은 HGE를 구성하여 오랜 기간동안 ECDIS의 안전이나 구현 기술 및 법적인 모든 문제를 협의하여 왔고, SOLAS 국제협약 제5장 20절 규정에서는 선교에 반드시 비치하도록 한 해도와 항해 관련 서지를 대신하여 이것들을 ECDIS 장비로 대체할 수 있도록 규정하였다. 여기에는 부차적으로 따라야 할 것이 많은데, 특히 ENC 해도를 최신해도로 개정해야 하는 문제와 수로서지 등 기타 출판물을 확보해서 항해사들이 유용하게 사용할 수 있도록 해야 한다는 점이다. 또한 ECDIS 자체의 신뢰성과 다른 장비들과의 호환성 및 오작동이나 시스템 정지에 대한 예비장비도 확보하여야 한다.

2.2 ECDIS 상의 항해계획 기능

ECDIS란 항해계기를 통해 입력된 모든 자료를 전자해도 상에 표시하여 항해사들이 유용하게 사용할 수 있도록 설계한 일련의 장비 및 소프트웨어를 모두 포함하여 부르는 명칭이다. 예를 들면, GPS 수신기를 통해 들어온 경위도와 Doppler Log 등을 통해 얻은 선속을 전자해도 상에 표시하거나, 항해 해역의 수심이 미리 설정된 수치 이하로 나타나면 항해사에게 경보 및 화면경보표시등으로 알려주어서, 발생할지도 모를 여러 가지 위험에 대해 항해사들에게 미리 이러한 위험을 알려줄 수도 있을 것이다.

항해계획은 직선이나 곡선에 대한 항로 표시가 가능해야 하고 변침점(Way points)의 설정이 항해사가 변침하기에 용이한 방법으로 설계되어야 한다. 또한, 항로상의 변침점에 대한 추가, 삭제 및 변경이 가능해야하고 모든 변경 내용의 저장 및 불러오기 등이 가능해야한다. 선택된 항로는 다른 항로와 확실히 구별되어야 하고, 선택된 항로에 대한 추가적인 대안 항로도 계획할 수 있어야 한다. 또

한 항해사가 설정한 이로(deviation)의 한계를 넘어서 항해하면 항로 이탈 경보가 울려야 한다.

2.3 항해계획 알고리즘

항해계획 알고리즘을 ECDIS상에 구현하려면 항해에 사용되는 모든 항법에 관하여 이해하지 않으면 안된다. 일반적으로 항법이라 하면 경위도를 알고 있는 두 지점 사이의 침로 및 항정을 구하거나, 출발지의 경위도와 이후 항해의 침로 및 항정으로 도착지의 경위도를 구하는 계산법을 말한다. 이러한 항법은 크게 항정선 항법과 대권항법으로 구분할 수 있다. 항정선 항법에는 중분위도항법과 점장위도 항법이 주로 사용된다. 대권항법에는 장애물이나 기상 정보 때문에 정점 부근을 항해하기가 곤란한 경우에 이를 보완한 집성대권항법이 있다.

지구표면 위에서 두 지점사이의 최단거리는 두 지점을 지나는 대권의 호이므로 대양 항해에서는 대권항정이 최단거리가 된다. 그러나 자오선과 적도를 제외한 모든 대권은 자오선과 같은 각도로 만나지 않으므로 정확히 대권 위를 항해하려면 침로를 조금씩 계속하여 바꾸어 주어야만 하는데 이것은 현실적으로 불가능하다. 그러므로 두 지점을 지나는 대권의 호 사이를 5° 내지 10° 간격으로 나누어 항정선항법으로 항해를 하면 대권 거리와 거의 유사한 거리를 항해하는 것이 된다.

따라서 현실적인 항해는 항정선 위를 항해하는 항정선 항법을 행하고 있는 것이고, 대권항법의 계산은 선박이 대권 위로 항해하기 위하여 필요한 변침점들을 구하는 것이다.

제3장 항해계획과 항법의 개요

3.1 연안 항해계획 및 항법

연안 항해는 육지와 가까운 해역을 항해하므로 대양 항해보다는 안전항해를 위협하는 협수로나 암초 또는 주위를 항해하는 선박이 많으므로, 확실한 견시를 수행하고 주위 상황에 신중히 대처해야만 한다. 연안항해에 사용되고 있는 항법은 중분위

도항법과 점장위도항법으로 나눌 수 있다.

3.1.1. 중분위도항법

지구상에 어떤 두 지점의 평균위도를 중분위도(Middle Latitude, L_m)라고 하면, 중분위도항법에서 사용하는 주요공식을 그림 1을 참조하여 다음과 같이 간단히 정리 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 l &= D \cos C & l &= \text{위도} \\
 C &= \text{침로} & p &= D \sin C \\
 p &= \text{동서거} & D &= \text{거리} \\
 DLo &= p \sec L_m = D \sin C \sec L_m \\
 DLo &= \text{변경} \\
 \tan C &= p/l = DLo \cos L_m / l \\
 L_m &= \text{평균위도} ((L_1 + L_2)/2)
 \end{aligned}$$

중분위도 항법은 가정의 항법이므로 중분위도 L_m 에 오차가 들어 있지만, 항정이 짧고 중분위도가 60도 이하이고 침로가 동서방향이며 같은 반구에 있을 때에는 실용상에 큰 지장이 없다.

3.1.2 점장위도항법(Mercator Sailing)

점장도는 자오선, 항정선 및 위도의 거등권으로 이루어지는 구면삼각형을 평면삼각형으로 나타낼 수 있으므로 항해가 가능한 해역에서는 평면 삼각형을 계산하는 것과 일치한다고 볼 수 있으며, 점장도의 구성이론으로 만들어진 항법을 점장위도항법(Mercator Sailing)이라고 한다.

점장위도항법은 중분위도항법과 마찬가지로 그림 1에 나타난 바와 같이 변위(l), 항정(D), 동서거(p), 침로(C) 사이의 관계를 구하는 과정은 동일하고 다만 침로(C), 변경(DLo), 점장변위(m) 사이에는 다음과 같은 식이 많이 사용된다.

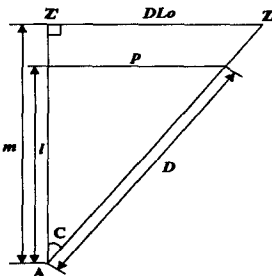


그림 1. 점장도에 사용되는 평면 삼각형

$$DLo = m \tan C$$

점장위도 항법의 정밀도를 따져보면 점장위도 항

법은 각 거등권 사이의 자오선의 호를 $DLo = p \sec L$ 과 같은 비율로 늘려주는 점장도의 구성원리로 만들어진 것이므로 근본적으로 오차가 없는 항법이다.

점장변위가 위와 같으므로 침로가 큰 경우이거나 위도가 높은 경우에는 \tan 값의 변화가 많기 때문에 침로, 또는 위도에 아주 작은 오차가 있더라도 변경이나 점장위도에는 큰 오차를 유발하게 된다. 점장위도는 그 위도가 높을수록 $\log \tan$ 의 값의 변화가 급격하여 위도에 약간의 오차가 있어도 그것이 점장위도에 큰 오차를 생기게 하기 때문에 결과적으로 변경에 큰 오차를 유발한다. 따라서 위와 같은 경우에는 근사적인 계산이긴 하지만 중분위도항법을 사용하는 것이 오차를 최소화하는 방법이다.

3.2 대양 항해계획 및 항법

지구의 표면은 하나의 큰 구면이라고 볼 수 있으므로 지구 표면에 좁은 부분의 계산은 그 부분을 평면이라고 생각하고 평면 삼각형으로 계산해도 상관 없지만, 넓은 부분의 계산은 구면삼각법에 의해서 계산해야 한다. 이런 대양 항해계획은 대권항법과 이것을 수정한 집성대권항법으로 나누어진다.

3.2.1 대권항법

항해거리를 단축하고 연료를 절약할 목적으로 지구표면에 있는 두 지점을 지나는 대권을 따라 항해하는 항법을 대권항법(Great circle sailing) 이라 한다. 대륙간을 항해하기위해 대양을 횡단해야한다면 가장 빠른 항로를 선택해야하므로 대권항해를 해야만 한다.

대권항법의 특성으로는 대권항법에서 대권이 모든 자오선과 같은 각으로 만나지 않으므로 대권 위를 항해하려면 시시각각으로 조금씩 침로를 변경해야하며 또 계산도 구면삼각법을 이용해야 하므로 까다롭다. 그러나 위도가 높은 해역이고 침로가 남(180°) 또는 북(000°)이 아니며, 거리가 멀수록 점장항법에 비해 유리한 항법이다.

극점을 P, A를 출발지, B를 도착지라 하고 각 지점의 위도를 L_1, L_2 라고 하면 AP, BP는 각각 A, B

의 여위도이고 $\angle APB$ 는 변경(DLo)이며 알고 있는 요소이다. 구면삼각형 APB에 Cosine 법칙을 적용하면 항정 D 는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\cos D = \sin L_1 \sin L_2 + \cos L_1 \cos L_2 \cos DLo$$

다음은 정점의 위치를 구하는 방법에서 V 를 정점이라하면 구면삼각형 PAV 및 PBV는 V 가 직각인 구면 직각삼각형이다. 정점의 위도 L_v 를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \cos L_v &= \cos L_1 \sin A \\ \cos L_v &= \cos L_2 \sin B \end{aligned}$$

다음으로, 정점에서 출발지 및 도착지까지의 변경을 각각 DLo_1, DLo_2 라면 $\triangle PAV$ 에서 다음 식을 얻는다.

$$\sin(90^\circ - A) = \cos PV \cos(90^\circ - PAV)$$

$$\begin{aligned} \sin DLo_1 &= \cos A \csc L_v \\ \sin DLo_2 &= \cos B \csc L_v \end{aligned}$$

위 식은 정점과 두 지점 사이의 변경을 구할 때 사용하는 공식이다.

다음에 출발지에서 정점까지 거리를 D_v 라고 하면 D_v 는,

$$\sin D_v = \cos L_1 \sin DLo_1$$

로 표현된다.

3.2.2 집성대권항법

두 지점을 지나는 대권의 항로가 고위도 또는 육지나 장애물로 인하여 항해할 수 없거나, 해류나 바람의 영향으로 정점 부근을 항해하는 것이 불리할 때가 있다. 이런 경우에는 여러 가지 상황을 고려한 후 미리 제한위도를 선정하여 놓고 출발지를 떠나서 예정한 제한위도의 거등권에 접하는 대권위를 항해하여 제한위도에 도달하면 090° 또는 270° 로 변침하고 그 거등권을 따라 항해한다. 그리하여 도착지를 지나서 제한 위도권에 접하는 대권과의 교점까지 가면 다시 대권 위를 항해하여 도착지로 가는 것이다. 위와 같은 항로를 선택하는 이유는 항해의 안전과 항해일수의 단축이라는 두 가지 관점에서 두 지점을 지나는 대권항로 다음으로 거

리가 짧은 항로를 취하기 위한 것이다.

따라서 출발지를 A라 하고 대권항로와 제한위도가 만나는 점을 각각 V_1, V_2 라 하고 도착지를 B라 하면 대권항법에서와 같이 A를 출발하여 V_1 까지 대권의 변침점을 구하고, V_2 에서 B점의 변침점 경위도를 구하여 점장도에 기입하고 각 변침점 사이에서는 점장 위도 항법이나 중분위도항법을 사용하여 항해한다. 그리고 제한위도의 V_1 과 V_2 사이에는 동서 방향의 거등권 항해를 한다

출발지 A의 출발침로를 C_i , 도착침로를 C_f 라하고 V_1, V_2 의 위도를 각각 L_{v1}, L_{v2} , A의 위도를 L_i , B의 위도를 L_f 라고 하면 $\triangle PAV_1, \triangle PBV_2$ 에서 출발 침로와 도착침로를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sin C_i &= \cos L_{v1} \sec L_i \\ \sin C_f &= \cos L_{v2} \sec L_f \end{aligned}$$

정점에서 출발지 및 도착지에 이르는 변경을 구하려면 V_1, V_2 의 경도 계산이 가능하므로 그 지점의 경위도를 구할 수 있다. 그리고 항정을 구하려면 출발지에서 제한위도 V_1 까지 대권항법으로 항정을 계산하고 V_1 에서 V_2 까지는 거등권 항법에서 구한 항정이고 나머지는 도착지에서 V_2 지점까지 대권항로를 구하면 된다.

$$\sin(90^\circ - PA) = \cos AV_1 \cos PV_1$$

대권 구간 AV_1 으로 정리하면 다음과 같고

$$\cos AV_1 = \sin(90^\circ - PA) \sec PV_1$$

이것을 간단히 하면 다음 식이 된다.

$$\cos AV_1 = \sin L_i \csc L_{v1}$$

동일한 방법으로 오른쪽 구면삼각형을 구하면 다음 식이 된다.

$$\cos BV_2 = \sin L_f \csc L_{v2}$$

다음은 거등권 항법을 사용해서 구한다.

$$V_1V_2 = DLo(V_1 \text{ to } V_2) \cos L_v$$

이상을 정리해서 모두 더하면 총항정이 된다.

$$\therefore D = AV_1 + V_1V_2 + V_2B$$

집성대권 항법은 동절기에 기상이나 해면상태가 좋지 않을 때 실무에서 주로 사용하는 항법이다.

제4장 항해 계획(Route Planning)

Algorithm의 분석 및 개발

4.1 연안 항해계획

선박이 육지에 접근하여 항해할 때에 사용하는 방법으로서 대부분의 해도들은 육지에 근접한 지역을 나타내고 있고 이 해도를 작성할 때에 사용하는 방법이 점장도이므로 점장항법에 대한 알고리즘을 정리한다. 점장위도 항법을 사용할 때, 고위도 또는 침로가 큰 경우에 오차 문제를 해결하고자 할 때는 진중분위도 항법을 사용하게 된다.

4.1.1 중분위도항법 계산을 위한 알고리즘

[알고리즘 1] 출발지점과 도착지점을 알고 침로와 항정을 구하는 경우

```
float L1, L2, Long1, Long2 ;
l = L2 - L1 ; // 변위 = D cos C
DL0 = Long2 - Long1 ; // 변경 = p sec Lm
// = D sin C sec Lm
Lm = (L1 + L2) / 2 // 중분위도
tan C = DL0 × cos Lm / m // 침로
D = l sec C // 항정
```

[END]

4.1.2 점장위도 항법(Mercator Sailing)의 알고리즘

[알고리즘 2] 출발지점과 도착지점을 알고 침로와 항정을 구하는 경우

```
float L1, L2, Long1, Long2 ;
const m = 7915.704468 {log tan(π/4 + L2/2)
- log tan(π/4 + L1/2)};
// 점장변위 m을 구하는 공식
l = L2 - L1 ; // 변위 = D cos C
DL0 = Long2 - Long1; // 변경 = m tan C ;
m = DL0 cot C ; // 점장변위
tan C = DL0 / m ; // 침로
D = l sec C ; // 항정
```

[END]

[알고리즘 3] 출발지점 및 침로와 항정을 알고 도착지점을 구하는 경우

```
float L1, Long1, C, D ;
const m = 7915.704468 {log tan(π/4 + L2/2)
- log tan(π/4 + L1/2)};
l = D cos C ; // 변위
L2 = L1 + l ; // 도착지 위도
m = DL0 cot C ; // 점장변위
DL0 = m tan C ; // 변경
Long2 = Long1 + DL0 ; // 도착지의 경도
```

[END]

4.2 대양 항해 계획

연안 항해와는 달리 육지와 멀리 떨어진 대륙간을 이동할 때의 항해 계획을 대양항해 계획이라고 한다. 기상 상태가 문제가 되지 않고 육지와 섬 같은 장애물이 없는 경우 최단 거리로 대양을 횡단하는 대권항법을 주로 사용하고, 겨울철에 날씨가 험악할 경우나 육상 장애물 등의 영향 때문에 제한위도를 설정하고 더 이상 고위도로 항해하지 않고 주위 상황을 고려하는 집성대권항법이 사용된다.

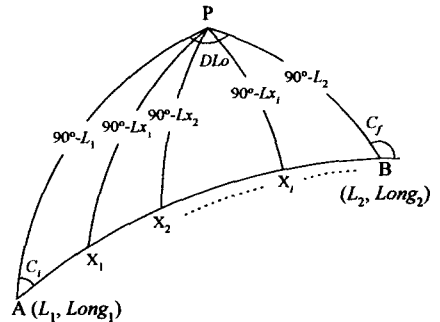


그림 2. 항해 삼각형

4.2.1 대권항법 계산을 위한 알고리즘

대륙간을 항해하는 장거리 항해이거나 고위도 해역의 항해 또는 동서 방향의 항해인 경우에 그림 2와 같은 항해 삼각형을 이용하여 출발지점(L1, Long1)과 도착지점(L2, Long2) 간의 대권항법의 계산 알고리즘을 구할 수 있다.

[알고리즘 4] : 출발 지점과 도착 지점을 알고 침로와 항정을 구하는 경우

```

float L1, L2, Long1, Long2, X, Y, Ci, Cf ;
l = L2 - L1 ; // 변위
DLo = Long2 - Long1 ; // 변경
X =  $\frac{\cos(L_1-L_2)/2}{\cos(180-L_1-L_2)/2} \cot \frac{DL_o}{2}$ 
Y =  $\frac{\sin(L_1-L_2)/2}{\sin(180-L_1-L_2)/2} \cot \frac{DL_o}{2}$ 
tan  $\frac{C_i+C_f}{2} = X$ 
tan  $\frac{C_i-C_f}{2} = Y$ 
Ci = X + Y // 출발 침로
Cf = X - Y // 도착 침로
X =  $\frac{\cos(C_i+C_f)/2}{\cos(C_i-C_f)/2} \tan \frac{(180-L_1-L_2)}{2}$ 
tan  $\frac{D}{2} = X$  // 항정
sin PV = cos(90° - AP) cos(90° - PAV) ;
sin(90° - Lav) = cos L1 sin Ci ;
cos Lav = cos L1 sin Ci ; // 정점의 위도
cos Lav = cos L2 sin Cf ;
sin DLo1 = cos Ci csc Lav ;
sin DLo2 = cos Cf csc Lav ;

```

if (DL_{o1} != Null) // Eastbound 항해 기준으로
// 정점의 경도

$$Lo_v = Long_1 + DL_{o1} ;$$

else if (DL_{o2} != Null)

$$Lo_v = Long_2 - DL_{o2} ;$$

else if

error message ;

// ΔDL_o : 일정한 변경의 크기(예: 5° 또는 10°)

// 변침점 xi (i=1,2,...,n 단, n<DL_o/ΔDL_o)

for (i=1; i <= n; i++)

{

$$X = \frac{\cos(C_i - i\Delta DL_o)/2}{\cos(C_i + i\Delta DL_o)/2} \cot \frac{PA}{2} ;$$

// Napier의 비례식을 이용

$$\tan \frac{Px_i + Ax_i}{2} = X ;$$

$$Y = \frac{\sin(C_i - i\Delta DL_o)/2}{\sin(C_i + i\Delta DL_o)/2} \cot \frac{PA}{2} ;$$

$$\tan \frac{Px_i - Ax_i}{2} = Y ;$$

if (Eastbound)

{

$$Lx_i = 90^\circ - x_i ; // 변침점의 위도$$

$$Longx_i = Longx_{i-1} + \Delta DL_o ; // 변침점의 경도$$

}

else if (Westbound)

{

$$Lx_i = 90^\circ - x_i ; // 변침점의 위도$$

$$Longx_i = Longx_{i-1} - \Delta DL_o ; // 변침점의 경도$$

}

else if

error message ;

$$C = 180^\circ - \angle Px_i A ; // 침로$$

$$D = Ax_{i+1} - Ax_i \text{ (단 } Ax_0 = 0 \text{)} ; // 항정$$

}

[END]

4.2.2 집성대권항법

두 지점을 지나는 대권의 정점이 실제로 항해하기 어려운 높은 위도에 있거나 또는 바람이나 해류 등의 영향 때문에 대권 위를 항해하면 오히려 불리할 때가 있다. 이런 경우에 제한위도에 도달하면 090° 또는 270°로 변침하여 거등권을 따라 항해하고 제한 위도권에 접하는 대권과의 교점까지 가면, 다시 대권 위를 항해하여 도착지로 가는 것이다.

[알고리즘 5] : 집성대권항법 계산을 위한 경우

```
float L1, L2, Lv, Dlo1, DLo2, Long1, Long2 ;
```

```

l = L2 - L1 ;           // 변위
DL0 = Long2 - Long1 ;  // 변경
Lv <- Input ;          // 제한위도 입력
cos Lv = cos L1 sin A ; // 정점의 위도
cos Lv = cos L2 sin B ;
sin DL01 = cos A csc Lv ; // 정점의 경도
sin DL02 = cos B csc Lv ;

cos AV1 = sin L1 csc Lv1 ; // 대권항법 방식
cos BV2 = sin L2 csc Lv2 ; // 대권항법 방식
cos DL0v1 = cot Lv1 tan L1 ;
cos DL0v2 = cot Lv2 tan L2 ;

sin Ci = cos Lv sec Li ; // 출발 침로
sin Cf = cos Lv sec L2 ; // 도착 침로

V1V2 = DL0(V1 to V2)cos Lv ; // 거등권 항법
D = AV1 + V1V2 + V2B ; // 총항정
    
```

[END]

제5장 항해 계획 알고리즘(Route Planning Algorithm)의 구현 및 검토

5.1 연안항해 계획

연안항해에서의 항해계획은 항해하는 해역의 항로 상황을 고려하여 안전한 항해를 첫째 목적으로 하고 그 다음으로 항해일수의 단축 및 경제성을 고려하여 항해 계획을 수립하여야 한다. 선박이 연안이나 육지에 접근하여 항해하기 때문에 안전한 항해를 확보하려면 주변의 위험 요소들을 적절히 회피하면서도 육상의 현저한 물표 등으로 지속적인 선위의 확인이 가능하도록 하여야 한다. 특히 연안 항해는 강한 조류나 바로 옆을 스치는 듯 지나가는 대형선들과 만나기도 하고 해도 상에 기재된 수심이 실제 수심과 종종 차이가 나는 등 풍부한 경험과 여러 가지 기술상의 판단을 요구하는 문제들에 종종 직면하게 된다. 아울러 해상충돌예방규칙과

관련한 항로의 교통분리방식에 관한 것도 고려하여야 한다.

이처럼 적절한 연안 항로의 선정을 위해서는 자신의 특성과 항해 해역의 항로 특성 및 기상 상태 등을 고려하여 적절한 이안거리를 두고 항해할 수 있도록 배려하여야 한다. 이러한 여러 가지 요소들을 고려하여 항해사가 연안 항해의 계획을 수립할 수 있도록 도와주는 많은 장비들이 있는데 이들 중에 전자해도시스템이 있다.

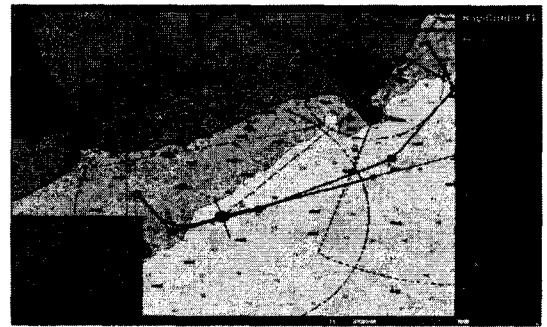


그림 3. 항해계획 화면

이 전자해도시스템에는 항해계획(Route planning) 기능이 포함되어 있어서 항해사가 전자해도 상에서 트랙볼이나 마우스를 이용하여 예정항로를 기점하면 각 기점간의 거리 및 침로, 그리고 누적 거리 계산이 자동으로 계산되어 종래와 같은 다수의 종이 해도와 컴퍼스, 계산기 등을 사용하지 않고서도 간단히 항해 계획을 세울 수 있다. 전자해도시스템에는 화면상에서 직접 변침점(WP)을 입력할 수도 있으며 선택에 따라서는 경위도 값을 수치로 입력할 수도 있으므로 정확한 위치 설정이 가능하다. 일단 설정한 항로에 이름을 부여해서 저장할 수 있으며 저장된 항로를 불러내어 수정할 수도 있다. 그리고 자주 이용하는 항로만을 모아서 일종의 항로 데이터베이스를 꾸미는 것도 가능하다. 일단 설정된 항로는 미리 입력된 해당 선박의 조종성능에 따라 실제적으로 가능한 선회권으로 바뀌어져 해도 상에 나타나므로 선박이 지나갈 항로를 정확히 예측할 수 있어서 매우 편리하다.

계획한 항로를 저장하거나(Save Route) 불러 올

(Load Route) 수 있도록 하였으며 새로운 항로 (New Route)를 작성할 수 있도록 메뉴나 아이콘을 사용하였다. 그림 3은 이렇게 개발한 항해 계획 알고리즘들을 ECS (Electronic Chart System) 전자해도 상에 실제로 나타낸 결과를 보여주고 있다. 전자해도에 항해계획을 위한 알고리즘을 사용하여 항해계획을 시험할 수 있게 한 화면이다. 해도 상에서 Way Point들을 마우스로 클릭하면 이점들의 경도 위도가 우측화면의 Route Plan에 표시된다.

5.2 대양항해의 계획

대륙간을 항해하는 대양항해의 항로를 선정할 때에는 내항성 및 적화상태 등을 고려한 자선의 특성, 항정의 길이, 해류, 계절풍, 안개, 눈, 기상, 해상 및 기압배치와 항로의 교통상황 등을 고려하여야 한다. 일반적으로 대양항해의 시작점과 종료점은 현저한 물표 등에 의한 선위의 확인이 용이한 곳을 선택한다. 추천항로가 있을 경우 추천항로를 따르는 것이 좋으며 각종 수로서지와 참고자료들을 활용하여 항로를 선정할 후에는 그 항로에 적절한 항법계산으로 항해 계획을 수립하게 된다. 대양항해에 주로 사용되는 대표적인 항법으로 항해거리를 단축하고 연료를 절약할 목적으로 사용되는 대권항법과 집성대권항법이 있다.

대권항해는 위도가 높아도 다른 항법이 가지는 오차를 포함하지 않기 때문에 상대적으로 좋고, 침로가 남북으로 되어 있으면 위도 차에 대한 거리의 차이가 거의 없지만 동서(東西)간의 항해에 적용하면 거리가 많이 단축된다. 또한 대권항법은 적도 근방을 항해하는 것보다는 고위도 지방을 항해하는 경우에 다른 항법과 비교해서 더 좋은 항법이라는 것을 알 수 있다.

집성대권항법이란 기상 및 해상 장애물 등의 여러 가지 대양의 항해환경을 고려하여 일정한 제한 위도를 설정하고 그 제한 위도 이하의 해역에서는 대권항법으로 항해하고 그 위도에 도달하게 되면 거등권 항법으로 동 또는 서쪽으로 항해하는 항법을 말한다.

이러한 대양 항해의 계획에 적용할 항해 계획 알

고리즘은 앞 절에서 상세히 설명한 바 있다. 대양 항해 계획을 위한 알고리즘의 실제적인 구현은 적절한 전자해도시스템의 개발이 선행되어 있어야 한다.

제6장 결 론

컴퓨터와 전자 항해 장비의 등장은 여러 가지 항해 기능들을 가진 장비들과 기관 및 통신 네트워크 등을 통합해서 1인 당직제도 또는 최소 인원 당직이 가능한 시대로 가고 있는 추세이다. 항해사들에게 필요한 최첨단 항해 장비중의 한가지인 ECDIS는 해도 상에서 이루어지는 모든 업무와 항해계획, 항로감시 그리고 항해기록을 검사하고 관리하는 기능뿐만 아니라 항해사에게 위험을 알려주는 기능까지도 포함하는 종합항법장비 중에서 항해부분의 핵심적인 장비이다. ECDIS는 각국 정부가 공인한 ENC 해도를 사용해야 하고 HGE에서 정한 높은 성능 기준에 도달해야 하며 각 나라의 정부가 공인하는 전자해도이다. 이러한 전자해도 시스템은 항해에 필요한 경위도 자료를 이용하여 항정 및 침로를 자동으로 표시해 주고 항로를 감시하며 위험 상황에 대한 경보를 알려주므로 항해사들에게는 아주 유용한 장비라고 할 수 있다.

간이 전자해도 시스템(Electronic Charts System: ECS)은 항해계를 통해 입력된 모든 자료를 전자해도상에 표시하여 항해사들이 유용하게 사용할 수 있도록 설계한 일련의 장비 및 소프트웨어를 모두 포함하여 부르는 명칭이다. 즉 이 시스템은 ECDIS를 보조하거나 백업 시스템으로 사용을 고려해 볼 만하다. 예를들면, GPS 수신기를 통해 들어온 경위도를 전자해도상에 표시하거나, 로 그를 사용해서 얻은 수심이 미리 설정된 안전 수심 이하로 내려가면 항해사에게 경보음이나 깜박거림 등으로 당직자가 아직 발견하지 못한 위험을 미리 알려주어서 이런 위험에 대해 사전에 대처할 수 있는 것이다.

항법(Sailing)이란 두 지점 사이의 침로 및 항정을 구하거나, 출발지의 경위도와 이후 항해의 침로

및 항정에 의하여 도착지의 경위도를 계산하는 것인데, 이러한 항법에는 크게 연안항법과 대양항법으로 나누고 연안항법에는 중분위도항법과 점장위도 항법이 주로 쓰이며 대양항법에는 대권항법과 이를 보완한 집성대권항법 등으로 나누어 앞에서 살펴보았다.

지구표면 위에서 두 지점사이의 최단거리는 두 지점을 지나는 대권의 호이므로 대양 항해에서는 대권항정이 최단거리가 된다. 그러나 실제로 이것은 자오선과 적도를 제외한 모든 대권은 자오선과 같은 각도로 만나지 않으므로 정확히 대권 위를 항해하려면 침로를 조금씩 계속하여 바꾸어 주어야만 하는데 이것은 현실적으로 불가능하다. 그러므로 두 지점을 지나는 대권의 호 사이를 5° 내지 10° 간격으로 나누어 항정선 항법으로 항해를 하면 대권 거리와 거의 유사한 거리를 항해하는 것이 된다. 따라서 현실적인 항해는 항정선 위를 항해하는 항정선 항법을 행하고 있는 것이고, 대권항법의 계산은 선박을 대권 위로 유도하기 위하여 필요한 요소를 구하는 것이다.

항해 계획은 출발 항구에서 도착 항구까지의 모든 변침점을 표시하고 변경하며 이 변침점들을 갱신하는 기능까지 포함하여 전체 항정을 나타내고, 아울러 평균 속도로 항해할 때 도착예정시간(ETA)을 알아볼 수 있도록 문서 형식으로 표시했다.

다음 논문에서는 항로 감시 기능과 항해 기록 기능 등을 데이터베이스화해서 항해 정보를 저장하고 관리하며 갱신하는 작업등을 다루려고 한다.

참고문헌

- [1] Deok Su, Lee, "Integrated Navigation System and Ship's Efficient Layout", The Korean Institute of Navigation, Proceeding of the International Symposium on VTS & IBS 95, pp.89-111, Nov. 2-3 1995
- [2] Gonin I.M., M.W. Smith and M.K. Down, "Human Factors Analysis of Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS)", Navigation, Vol. 40, No. 4, pp. 359-373.
- [3] International Hydrographic Organization(IHO), Edition 2.0, Aug. 1995, ECDIS Presentation Library, User's Manual, Special Publication No. 52, Appendix 2. Internation Hydrographic Bureau, Monaco.
- [4] International Hydrographic Organization(IHO), Edition 3.0, Nov. 1996, IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data. Special Publication No. 57, Internation Hydrographic Bureau, Monaco.
- [5] International Maritime Organization(IMO), RESOLUTION A.817(19), Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems(ECDIS), Nov. 23 1995.
- [6] Tae-Woo Kim, "International trends on the Integrated Bridge System", The Korean Institute of Navigation, Proceeding of the International Symposium on VTS & IBS 95, pp.125-149, Nov. 2-3 1995
- [7] 건설교통부 수로국, 전자해도 응용 및 정책연구, 1996. 8. '전자해도 제작 및 관련기술 개발'에 관한 최종 보고서.
- [8] 대양전기(주), "항해자동화 시스템 기술개발에 관한 연구", 산기반 기술개발보고서, Nov. 1999.
- [9] 윤여정, 지문항해학, 1987.9. 한국해양대학 해사도서출판부.
- [10] 한국해양대학교 조선기자재연구센터, "종합항법장치의 SI 사업 기술개발", 산기반 기술개발보고서, Sep. 1999.