

섹스탄트를 이용한 개선된 선박 측위 알고리즘의 구현

신희한¹ · 임재홍^{2*}

Implementation of Improved Ship Positioning Algorithm using Sextant

Heui-han Shin¹ · Jae-hong Yim^{2*}

¹Operatons Branch Headquarters, Republic of Korea Navy, Chungcheongnam-do 32800, Korea

²Department of Electronics, Electrical and Information Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약

선박이 대양 항해 시 선박의 위치를 구하는 것은 안전 항해를 위해 매우 중요하다. 1990년대 이후 GPS(Global Positioning System) 항법의 발전으로 대부분의 선박들이 GPS를 이용하고 있다. 천문 항법은 대양항해 시 항법 수단으로 활용되었으나 계산과정이 복잡하고 시간이 많이 걸리며 해도에 작도를 해야 하는 어려움이 있었다. 그 결과, 활용성이 급격히 저하되었다. 본 논문에서는 기존 천문항법의 문제점을 개선하여 편리성과 활용성을 도모한 개선된 선박 측위 알고리즘을 제시하고 천문항법의 계산과정을 수식으로 정리하여 알고리즘을 소프트웨어로 구현하였다. 선박이 항해 시 태양의 고도, GHA, dec를 컴퓨터에 입력하면 선위가 경·위도 좌표로 화면에 전시된다. 본 논문의 결과, 개선된 방법으로 천문항법의 유용성을 확인할 수 있었으며 조난 시 훌륭한 항법 수단이 될 것이다.

ABSTRACT

When a Ship sails in the ocean, it is significant to find one's position for safe navigation. Most of ships have been using GPS navigation since its development after 1990's. The celestial navigation was used as the navigation method when sailing in the ocean, but time-consuming process such as complicated calculation and plotting the result on chart diminished its utilization. The thesis explains convenience and utilization of existing celestial navigation by resolving challenges it has. As a way of enhancing the celestial navigation, the author developed a software which includes a numerical formula based on the previous calculation process. When a navigator inputs the altitude of sun, GHA and dec into computer while sailing, the position of the ship will be displayed as the coordinates. The improved method thus reaffirmed the usefulness of the celestial navigation and will greatly serve as means of navigation in the occurrence of distress. Abstract should be placed here.

키워드 : 섹스탄트, 천문항법, 알고리즘, 소프트웨어

Key word : Sextant, Celestial Navigation, Algorithm, Software

Received 09 February 2017, Revised 21 February 2017, Accepted 17 March 2017

* Corresponding Author Jae-Hong Yim(E-mail:jhyim@kmou.ac.kr, Tel:+82-51-410-4318)

Department of Electronics, Electrical and Information Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.6.1243>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

유럽의 대항해시대 이후 천문항법은 대양 항해 시 선박에서 유일한 항법수단이었다. 그러나 1990년 GPS(Global Positioning System) 항법이 보편화된 이후 바다를 항해하는 선박들은 정확성과 편리성으로 인해 GPS 항법에 의존하고 있다. GPS 항법 이전에는 선박들이 대양을 항해할 때에는 섹스탄트(sextant)로 선박의 위치를 구하였다. 즉 항해사가 섹스탄트로 천체의 고도를 측정하여 관측고도로 개정하고 가정위에서 계산고도와 관측고도 차이를 구하여 선박의 위치를 기점 하였다. 그러나 이러한 방법은 계산과정이 복잡하고 시간이 오래 걸리며 해도에 작도를 해야 하는 불편함으로 인해 활용도가 현저히 저하되었다.

천문항법은 복잡한 천측계산과 해도 기점 등으로 GPS항법 이후 구시대의 유물로 인식되었다. 그러나 2016년 4월 1일 북한의 2차 GPS 교란 전파가 발사돼 어선 등 240여척의 GPS 플로터가 오작동했다[1]. 또한 2013년 1월 17일 美 군함 가디언호(USS Guardian)가 항로착오로 필리핀 술루해의 산호초에 좌초된 사고가 있었다. 특히, 美 해군사관학교에서는 지난 1998년 GPS보다 정확도가 떨어진다는 이유로 천문항법 과목을 폐지했다가 최근 컴퓨터 해킹문제가 불거지면서 해킹과 무관한 천문항해술을 신입생도 들에게 가르치기 시작했다[2]. 이 사실은 최첨단의 GPS 항법 시대에도 천문항법은 대양 항해 시 항법수단으로서 제 역할을 수행할 수 있다는 것이다.

본 논문에서는 섹스탄트를 이용한 개선된 선박 측위 알고리즘을 구현함으로써 천문항법의 복잡한 계산 과정과 시간을 단축하고 해도에 작도를 하지 않아도 위치 산출이 가능한 방법을 제시하였다. 또한 본 논문에서는 천문항법의 항해삼각형을 응용하여 수식으로 위도와 경도를 산출하는 알고리즘을 제시하였으며 개인용 컴퓨터에서 실행이 가능한 소프트웨어로 구현하였다. 컴퓨터에서 소프트웨어의 입력창에 요구되는 값을 입력하면 위치 좌표가 위도와 경도로 표시되도록 적용하여 항해사의 편리성과 활용성을 극대화 하였다.

본 논문에서는 관련 연구의 분석 및 알고리즘 제시와 실험을 진행하였다. 첫째, 천문항법 관련 서적과 수로서지, 연구 논문을 검토하였고, 둘째, 항해삼각형을 응용하여 천문항법 계산과정을 알고리즘화 하였으며, 셋

째, 섹스탄트로 측정된 태양의 고도, GHA(Greenwich Hour Angle), dec(declination)를 입력하면 선박의 위치가 경·위도 좌표로 표시되도록 컴퓨터의 소프트웨어로 만들었고, 넷째, 기존의 방법과 논문에서 제안된 방법을 적용한 결과를 비교하여 활용 가능성을 연구하였다.

본 논문은 총 5장으로 구성하였다. 1장 서론에서는 연구의 목적과 방법을 기술하였고, 2장은 섹스탄트를 이용한 기존의 천문항법에 의한 선박 측위과정을 설명하였다. 3장은 선박의 위치산출 알고리즘을 컴퓨터에서 소프트웨어로 구현하였으며, 4장은 실험환경을 구축하여 시험 및 평가를 통해 산출된 결과의 편리성과 활용성을 평가하였다. 5장은 연구의 결론과 향후 연구방향을 제시하였다.

II. 섹스탄트를 이용한 기존의 선박측위

2.1. 섹스탄트와 고도 오차

섹스탄트는 두 물표간의 각을 측정하는 기구이며 천문항해 시에는 천체의 고도를 측정하는 한다.

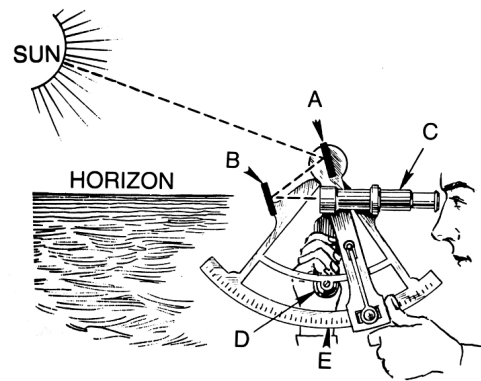


Fig. 1 Sighting using the Sextant

그림 1은 섹스탄트를 이용하여 태양의 고도를 측정하는 방법을 나타낸 것이다. 섹스탄트 고도의 오차에는 안고차, 기차, 대기차, 시차, 시반경, 시반경 증가율, 광삼, 위상 등이 있다. 안고차(眼高差, Dip of Horizon)는 관측자의 지점에서 시수평과 거소수평의 차이이다. 안고차(D)는 천측력 표의 공식에 따라 $D = -0.97\sqrt{h}$ (안고 ft) 또는 $D = -1.76\sqrt{h}$ (안고 m)로 산출된다. 시고도는 섹

스탄트의 고도에서 안고차와 기차를 개정한 고도를 말한다[3]. 섹스탄트를 이용하여 위치를 구하고자 할 때에는 위치의 오차를 발생시키는 여러 요인들 중 섹스탄트 기기의 오차를 반드시 보정해야 하며, 보정하는 방법은 여러 가지 수단을 잘 활용할 수 있어야 한다[4].

항해사가 섹스탄트로 태양의 고도를 측정시 섹스탄트를 수직으로 세우고 태양 방향으로 향하여 태양의 고도를 측정한다. 먼저 수평경의 투명한 창에 수평선을 맞추고 반사경의 태양을 보고 태양의 하현을 수평선까지 내린다. 수평선과 태양의 하현을 맞추고 난후 섹스탄트를 좌우로 흔들어 수평경에서 태양이 좌우 움직이는 것을 보고 수평경의 중앙에서 태양의 고도를 측정한다. 또한 섹스탄트의 드럼을 돌릴 때 백리쉬에 주의하면서 고도를 측정한다. 고도의 오차는 선박의 위치 오차에 지대한 영향을 끼치므로 정확히 측정한다.

2.2. 기존의 측위방법

선박이 대양을 항해하기 위해서는 출항지에서부터 입항지까지 선박의 속력을 고려하여 항해계획을 수립한다. 연안을 항해하는 경우에는 항로가 다소 변경되더라도 항해거리에 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 대양을 항해할 때 항로의 변경은 몇 백마일 씩 항해거리가 늘어나고 시간도 많이 소요된다. 그래서 항해사는 항해계획을 수립 시에 매 시간 단위로 항로상에 표시하고 항해 시 선박의 위치를 해도 상에 기점한다. 선박의 위치 측위 시에는 GPS 항법과 천문항법을 동시에 병행하여야 위치의 오차를 줄일 수 있다.

천문항법은 항해사가 먼저 선위를 측정하고자 하는 시간에 태양의 GHA와 dec를 천측력에서 값을 구한다. 따라서 항해사는 원하는 시간의 분과 초의 값을 구하기 위해서는 보간을 통해 구할 수 있다. 그러나 이를 전산화하여 원활한 천측력의 값을 구하고자 한다면 이에 대한 적절한 전산프로그램을 이용하여 구한 것도 가능하다[5]. LHA(Local Hour Angle) 값은 정수가 되도록 태양의 GHA 값에 가정위치의 경도 값을 더하여 구한다. 가정위치의 경도 값은 예정위치 인근에서 값을 구한다. 가정 위도는 예정위치 인근의 위도에서 정수 값으로 구한다. 가정경도와 가정위도는 예정 위치의 30' 이내의 값으로 정한다. 천측계산표에서 계산고도를 구할 때 태양의 dec와 가정위도의 N, S를 비교하여 부호가 동명이면 천측계산표의 왼쪽 편, 이명이면 오른쪽 편에서 가

정위도 값과 태양의 dec를 계산하여 태양의 계산고도와 방위 값을 구한다.

선박 측위시간이 되면 태양의 고도를 섹스탄트로 측정하고 섹스탄트의 기차, 안고 값, 태양의 하현 값을 보정하여 관측고도의 값을 구한다. 해도상의 가정위치(가정위도, 가정경도)에서 관측고도와 계산고도를 비교하여, 관측고도가 크면 태양의 방위 쪽으로 차이만큼 위치선을 작도하고, 계산고도가 크면 반대 방위 쪽으로 차이만큼 위치선을 작도하는 HOMOTO 방법을 적용한다. 해도 상에 작도하는 방법은 태양 방위의 직각 방향으로 위치선을 작도한다. 2회 격시관측한 경우에는 위치선을 전위하여 교차된 지점이 선박의 위치가 된다[6]. 숙련된 항해사라도 계산과 작도까지 약 10분에서 15분 정도 소요된다.

이러한 방법은 가정위치가 반드시 필요하며 계산과정이 복잡하여 계산표를 이용하고 있으나 숙달되지 않으면 계산과정을 잊어버리기 쉽다. 또한 천측력과 천측계산표, 태양방위각표 등 천문항해 참고서지를 항상 가지고 있어야 한다. 천측계산표는 책 한권에 위도 15도 범위가 수록되어 있어 총 6권에 구성되어 있다. 표 고도를 찾을 경우에는 LHA값, 가정 위치의 위도와 태양 dec의 위도 부호를 고려해야 한다. 그래서 천문항법 참고서지에서 원하는 값을 구하는 과정이 복잡하여 숙련되지 않으면 쉽게 찾을 수도 없다. 따라서 초보자나 천문항법을 자주 활용하지 않는 항해사의 경우에는 매우 힘들고 시간이 많이 걸리며 위치오차도 많이 발생한다. 그림 2는 태양의 관측고도와 계산고도를 비교하여 HOMOTO 방법으로 위치선을 해도 상에 작도하고 있다.



Fig. 2 Plotting on Chart

III. 선박 측위 알고리즘 및 소프트웨어 구현

3.1. 알고리즘의 개요

기존의 천문항법 계산과정을 전산화하기 위해 전산화가 가능한 요소들을 식별하고 수식으로 적용 가능한 요소들을 도출하였다. 개선된 방법은 태양의 ho(height observation, 관측 고도), GHA, dec를 구하는 과정은 기존 방법과 동일하며, 계산고도와 해도에 위치선을 작도하는 과정 대신에 수식을 적용하여 선박의 측위가 가능하도록 구현하였다.

수식에서 요구되는 기본 요소는 태양의 ho, GHA, dec이다. 이 세 가지 값을 컴퓨터 프로그램에 입력하면, 위도와 경도가 컴퓨터의 화면에 좌표로 표시된다. 또한 이것은 프로그램 사용자의 편리성과 활용성을 위해 개인용 컴퓨터에서 쉽게 활용할 수 있는 소프트웨어로 만들었다.

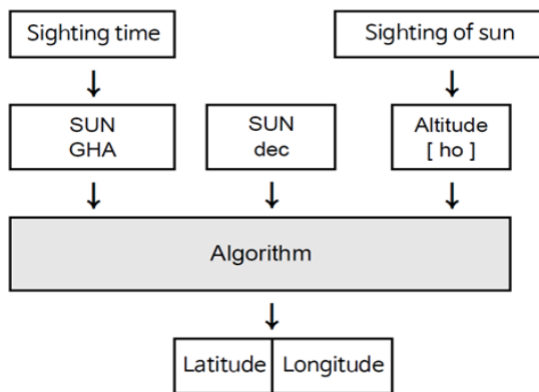


Fig. 3 Flow Chart

선박의 측위 알고리즘은 항해삼각형을 응용하여 수식을 만들었으며, 수식의 적용을 위해 몇 가지 선행조건이 필요하다. 첫째, 시간(UT: Universal Time)을 알고 있어야 한다. 둘째, 선박에서 컴퓨터를 사용할 수 있어야 한다. 셋째, 천측력이 있고 이용할 수 있어야 한다. 이러한 조건이 충족된 상태 하에서 알고리즘의 적용이 가능하다. 그림 3은 선박의 측위 알고리즘의 요소인 태양의 GHA, dec, 관측고도 값에 대한 흐름을 표현한 것이며 관측시간에 태양의 관측고도, 태양의 GHA와 dec를 함께 값을 구하여 알고리즘을 통해 관측자의 선위를 경위도로 구하는 것을 나타내고 있다.

3.2. 선박 측위 알고리즘의 구현

태양의 고도관측 방법은 격시관측으로 태양의 하현을 섹스탄트로 주간 중 2회 이상 관측한다. 항해 삼각형에서 위도에 대응하는 각은 GP₁의 사이각이다. 이것을 응용하기 위해 그림 4와 같은 두 개의 위치선이 교차되는 환경을 조성하였다. 그림 4는 주간 중 태양을 오전과 오후에 각 1회 격시관측 한 것을 그림으로 나타낸 것이다.

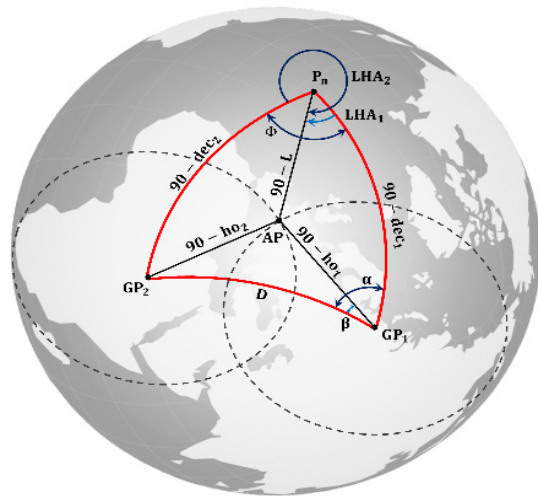


Fig. 4 Sun Sighting from 10 a.m. to 2 p.m

$$\phi = GP_1 - P_n - GP_2$$

ϕ 는 천의 북극(Pn)을 기준으로 오전 태양의 위치(GP₁)와 오후 태양의 위치(GP₂)와의 사이 각을 말한다.

$$\alpha = P_n - GP_1 - GP_2$$

α 는 오전의 태양위치(GP₁)를 기준으로 천의 북극(Pn)과 오후 태양의 위치(GP₂)와의 사이 각을 말한다.

$$\beta = AP - GP_1 - GP_2$$

β 는 오전 태양의 위치(GP₁)를 기준으로 선박의 위치(AP)와 오후 태양의 위치(GP₂)와의 사이 각을 말한다.

$$D = GP_1 - GP_2$$

D는 오전 태양의 위치(GP₁)와 오후 태양의 위치(GP₂)와의 사이 거리를 말한다.

위치산출 알고리즘의 순서는 ① 태양의 ho, GHA,

dec 입력, ② 사이각(ϕ) 산출, ③ 위도(L) 산출, ④ 경도 (GHA_{ap}) 산출 순이다.

① 태양의 ho, GHA, dec는 기존의 방법으로 구하며 각각의 값을 수식에 입력한다.

② GP₁과 GP₂ 사이각(ϕ) 산출 수식을 정리하면 식(1)와 같다.

$$\phi = GHA_2 - GHA_1 \quad (1)$$

식(1)의 ϕ 는 구면삼각형의 GP₁-Pn-GP₂에서 GP₁와 GP₂의 사이각(ϕ)으로 태양의 GHA를 이용하여 산출한다.

③ 위도(L) 산출 수식을 정리하면, 식(2)에서 ϕ 에 대응하는 거리(D)를 구하고, 여위도(90-L)에 대응하는 각을 구하기 위해 식(3)에서 각(α)를 구하며, 식(4)에서 각(β)를 구한다. 식(5)에서 대응하는 사이각($\alpha-\beta$)을 이용하여 위도(L)를 산출한다[7].

$$\cos(D) = \sin(dec_1) \cdot \sin(dec_2) + \cos(dec_1) \cdot \cos(dec_2) \cdot \cos(\phi) \quad (2)$$

식(2)의 D는 Pn- GP₁-GP₂의 구면삼각형에서 ϕ 에 대응하는 값이고 GP₁에서 GP₂까지 거리이며, 이 값은 태양의 dec와 사이각(ϕ)을 이용하여 값을 구한다.

$$\cos(\alpha) = \frac{\{\sin(dec_2) - \sin(dec_1) \cdot \cos(D)\}}{\{\cos(dec_1) \cdot \sin(D)\}} \quad (3)$$

(3)의 α 는 Pn- GP₁ - GP₂의 구면삼각형에서 태양의 dec에 대응하는 값이고, Pn과 GP₂의 사이각이며, 태양의 dec와 D를 이용하여 값을 구한다.

$$\cos(\beta) = \frac{\{\sin(ho_2) - \cos(D) \cdot \sin(ho_1)\}}{\{\sin(D) \cdot \cos(ho_1)\}} \quad (4)$$

식(4)의 β 는 AP- GP₁-GP₂의 구면삼각형에서 태양의 ho에 대응하는 값이고, AP와 GP₂의 사이각이며, 태양의 ho와 D를 이용하여 값을 구한다.

$$\sin(L) = \sin(dec_1) \cdot \sin(ho_1) + \cos(dec_1) \cdot \cos(ho_1) \cdot \cos(\alpha-\beta) \quad (5)$$

식(5)의 여위도(90-L)는 Pn-GP₁- AP의 구면삼각형에서 Pn과 AP의 사이각($\alpha-\beta$)에 대응하는 값이며, 태양의 dec, ho, 사이각($\alpha-\beta$)을 이용하여 값을 구한다.

④ 경도 산출 수식을 정리하면, 식(7)에서 태양의 ho에 대응하는 LHA₁의 값을 구하며, 식(8)에서 GHA₁를 이용하여 GHA_{ap}값을 구한다.

$$\cos(LHA_1) = \frac{\{\sin(ho_1) - \sin(L) \cdot \sin(dec_1)\}}{\{\cos(L) \cdot \cos(dec_1)\}} \quad (7)$$

식(7)의 LHA₁은 GP₁-Pn-AP의 구면삼각형에서 태양의 ho에 대응하는 값이고 GP₁과 AP의 사이각이며, 태양의 ho, dec, 선박의 위도를 이용하여 값을 구한다.

$$GHA_{ap} = GHA_1 \pm LHA_1 \quad (8)$$

식(8)은 정오를 기준으로 오전에는 AP를 기준으로 GP₁과 GP₂의 위치가 오른쪽에 있고, 오후에는 반대가 된다. 따라서 GHA는 서쪽(시계방향)으로 측정하기 때문에 오전에는 LHA₁를 더하고, 오후에는 빼는 것이다. GHA_{ap}값이 180도 이내이면 W(서경)을, 180도 이상이면 360도에서 GHA_{ap}값을 뺀 값에 E(동경)을 붙인다.

3.3. 선박 측위에 대한 컴퓨터 소프트웨어의 구현

본 논문은 항해사가 섹스탄트로 태양의 고도를 측정하고, 기존의 방법으로 태양의 ho, 태양의 GHA, dec을 산출한다. 격시관측으로 2회 산출된 ho, GHA, dec 값을 컴퓨터의 프로그램에 입력하면, 선박의 위치가 위도와 경도로 산출 되도록 소프트웨어를 구현하였다.

Fig. 5 Implement of the Ship Positioning Algorithm

기존의 방법은 선박의 위치와 태양을 관측하게 될 시간의 가정위치를 반드시 알고 있어야 고도차 법에 의한 위치선을 구하여 선박의 위치를 산출할 수 있다. 개선된 방법은 선박의 위치와 가정위치가 필요하지 않으며 관측한 시간과 태양의 ho, GHA, dec만으로 수식에 의한 위치 산출이 가능하도록 하였다.

그림 5는 선박 측위 알고리즘 소프트웨어가 컴퓨터 화면에 구현된 것이며 창을 2개로 구분한 것은 2회 격시관측을 고려하였기 때문이다. ho, GHA, dec값의 입력창을 도(°)와 분(')단위로 나눈 것은 사용자의 편의를 위해 구분하였다. 또한 오전, 오후 선택창과 계산버튼을 아래에 배치한 것은 경도 계산을 고려하기 위함이다. 기존 방법의 계산 순서를 고려하여 ho, GHA, dec 순으로 입력순서를 설정하였으며, 사용자의 편리성과 활용성을 고려하여 기존의 방법을 알고 있으면 쉽게 사용할 수 있도록 프로그램을 설계하였다.

| Sighting of Sun (16.10.15) | | | | | | | | |
|----------------------------|------------|---------|--------------|--------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| section | result | radian | d1(10.14.59) | d2(10.39.27) | GHA1 | GHA2 | ho1 | ho2 |
| ϕ | 6.11666667 | 0.10676 | | | 202.305 | 208.42167 | | |
| D | 6.0475927 | 0.10555 | -8.611667 | -8.6183333 | | | 38.653333 | 41.433333 |
| α | 90.5216466 | 1.5799 | -0.150302 | -0.1504183 | | | 0.6746279 | 0.723148 |
| β | 60.4175019 | 1.05448 | | | | | | |
| L | 35.0617651 | 0.61194 | | N 35-03-7 | | | | |
| LHA1 | 28.5898884 | | | | | | | |
| GHA | 129.105112 | | | E 129-06-3 | | | | |

Fig. 6 Implement of Excel programing

수식의 정리 후 수식의 증명은 공학용 계산기로 값을 대입하여 순서대로 계산한 결과, 위도와 경도의 값이 도출되었다. 이후에 소프트웨어의 설계 오류를 줄이기 위해 그림 6과 같이 엑셀프로그램에 수식을 입력하여 ho, GHA, dec값으로 계산한 결과, 공학용 계산기의 값과 동일한 결과를 도출하였다.

두 가지의 방법으로 검증된 수식과 계산순서에 따라 소프트웨어를 설계하였다. 설계 순서는 먼저 태양의 고도와 GAH, dec를 입력할 수 있는 창과 2회 관측한 값을 수식 (1)부터 수식 (8)까지 순차적으로 진행되도록 하였다. 또한 값은 도(°)에서 라디안 값으로 변환하고 계산된 값은 라디안에서 도(°)값으로 변환하여 표

시하였다. 값을 표시하는 창은 그림 5에서처럼 입력하고 계산 버튼을 누르면 그림 7과 같은 형태로 표시되도록 구현하였다. 소프트웨어 프로그래밍 언어는 개인용 컴퓨터에서 호환성이 높은 C#으로 작성하였으며 누구나 쉽게 이용할 수 있도록 편리성과 활용성을 고려하였다.

IV. 시험 및 평가

4.1. 시험 환경

시험환경은 부산 영도해안에서 관측자 1명과 보조자 1명이 태양의 고도를 관측하였다. 관측자가 태양의 고도를 수평선에 맞추고 '측정'이라는 구령을 내리면 보조자가 초 단위의 관측시간과 섹스탄트 고도를 노트에 기록하였다.

태양 고도 관측 당시의 해상상태는 파고 1미터 내외이고 시정은 5마일 이상으로 양호하여 수평선을 명확히 식별할 수 있었다. 또한 태양의 고도를 관측할 때에는 시간에 맞추어 관측할 때보다 태양의 고도를 관측하는 순간에 시간을 맞추는 것이 더 정확한 고도를 측정할 수 있었다.

항해사가 컴퓨터에 입력해야 되는 수치는 태양의 ho, GHA, dec이며, 태양의 dec값이 남위일 경우에는 -(마이너스)로 입력하였다.

본 논문에서 위치의 정확성 보다는 계산 수식에 의한 선박 측위에 초점을 두고 시험 환경을 설정하였다. 항해사가 계산고도를 구하기 위한 복잡한 계산과정과 해도에 위치선의 작도하는 과정 없이, 수식에 의해 위치 산출이 가능하도록 컴퓨터상에 소프트웨어로 구현하였다.

동일한 관측자가 부산 영도 해안에서 태양의 고도를 3회 격시관측 하였으며, 기존의 방법과 개선된 방법의 위치산출 소요시간과 산출된 위치의 오차를 비교하였다.

4.2. 시험 및 평가

2016년 10월 15일 부산 영도 해안에서 10시 14분부터 11시 09분까지 태양의 고도를 3회 섹스탄트로 관측하였다.

Table. 1 Sight of Sun

| Time | ho | GHA | dec |
|----------|---------|----------|-----------|
| 10:14:59 | 38-39.2 | 202-18.3 | S 08-36.7 |
| 10:39:27 | 41-26.0 | 208-25.3 | S 08-37.1 |
| 11:09:08 | 44-03.0 | 215-50.6 | S 08-37.5 |

표 1은 관측한 시간별 태양의 ho, GHA, dec이며, 2016년 천측력을 이용하여 값을 구하였다. 기존의 방법은 계산고도가 필요하나 개선된 방법에는 사용되지 않아서 수식계산에 필요한 요소만 기록하였다.

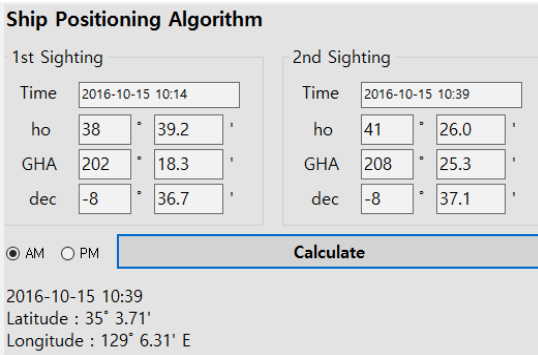


Fig. 7 Result of Algorithm

그림 7은 개인용 컴퓨터에서 관측한 시간과 태양의 ho, GHA, dec 값을 입력창에 2016년 10월 15일 10시14분과 10시 39분의 값을 입력한 결과, 10시 39분의 측위 좌표를 위도와 경도 좌표로 표시된 것이다.

표 2는 천문항법에서 위치산출과정의 소요시간을 비교한 것이다. 본 논문에서는 관측자가 기존의 방법과 개선된 방법의 소요시간을 측정하였으며 10여회 이상 실시하여 평균값을 제시하였다.

Table. 2 Comparison of Method

| Position Calculating Process | Time | |
|------------------------------|-----------|----------|
| | Current | Improved |
| ho Calculate | 54 " | 54 " |
| GHA Calculate | 2 ' 35 " | 2 ' 35 " |
| dec Calculate | 45 " | 45 " |
| hc Calculate | 3 ' 20 " | 45 " |
| Height Comparison | 30 " | |
| Chart Plotting | 5 ' 26 " | |
| Total | 13 ' 30 " | 4 ' 59 " |

표 2에서 보는 것처럼 ho 산출에서 dec 산출까지는 기존 방법과 개선된 방법이 동일한 과정이고, hc산출에서 해도 작도까지의 과정은 기존의 방법이며, 개선된 방법에서는 컴퓨터에 계산되어 위치가 산출된다. 표 2의 hc 값은 천측계산표를 이용하여 구하였다.

기존방법의 소요시간은 1회 태양을 관측 후 1개의 위치선을 작도하는 데 까지 걸리는 시간이며, 개선된 방법의 소요시간은 컴퓨터의 화면에 값을 입력하여 좌표가 표시되기까지의 시간이다. 항해사가 선박의 위치산출을 위해서 격시관측으로 2회 태양의 고도를 관측해야 하므로 기존의 방법은 총 27분이 소요되며, 개선된 방법은 9분 58초가 소요된다. 그러나 최종 관측한 시간을 기준하면 기존 방법은 13분 30초가 소요되고 개선된 방법은 4분 59초가 소요된다. 따라서 시간을 8분 31초가 단축되며 별도의 계산과 위치선 작도가 불필요하다.

그 결과, 태양의 고도가 위치 산출에 미치는 영향요소 중 가장 크다는 것을 확인하였다. 그리고 위치 오차의 두 번째 요인은 항해사의 능력이다. 항해사의 능력은 태양의 고도를 측정하는 방법이다.

Table. 3 Position Error Comparison

| Time | Current Position Error | Improved Position Error |
|----------|------------------------|-------------------------|
| 10:39:27 | 12.2nm | 1.2nm |
| 11:09:08 | 8.3nm | 2.49nm |
| Average | 10.25nm | 1.85nm |

개선된 방법의 소요시간 약 5분은 선박이 15노트의 속력으로 항해를 한다고 가정하면, 5분간 1.25마일을 항해할 수 있다. 표 3은 기존의 방법과 개선된 방법으로 위치를 구하여 위치오차를 나타낸 것이다. 따라서 표 3에서 개선된 방법은 위치오차의 평균이 1.85마일이므로 선박이 5분간 15노트의 속력으로 항해한 거리인 1.25마일을 더하면 이론상으로 3.5마일의 위치오차가 발생한다. 물론 이것은 계산상의 수치이므로 선박에서 측위 시에는 해상의 상태, 선박의 조건에 따라 달라질 수도 있다. 그러나 기존의 방법에서 개선된 방법으로 선박을 측위 할 경우에는 신속히 위치를 구할 수 있었다. 또한 경·위도 좌표로 화면에 표시되어 쉽게 확인이 가능하였다.

본 논문에서 항해사의 천문항법 능력과 상관없이 개선된 방법을 이용하여 측위가 가능하도록 하였다. 또한 기존의 천문항법에 비해 개선된 방법으로 편리성, 활용성, 천문항법의 유용성을 재확인하였다.

첫째, 편리성이다. 기존의 방법은 항해사가 계산지, 천측력, 천측계산표, 계산기를 준비하여 hc를 계산하고 해도에 위치선을 작도하여 선위를 산출한다. 또한 선박의 위치와 가정위치를 반드시 알고 있어야 한다. 이러한 과정은 복잡하고 시간이 오래 걸린다. 개선된 방법은 이러한 과정 대신에 수식으로 정리하였으며 위치산출 알고리즘이 컴퓨터에서 실행 가능하도록 소프트웨어로 구현하였다. 그 결과, 선위 산출시간이 격시관측에서 기존의 방법보다 8분 31초 단축되었다.

둘째, 활용성이다. 기존의 방법은 해도대와 작도할 수 있는 삼각자와 컴퍼스가 필요하지만 개선된 방법은 컴퓨터에서 경·위도 좌표로 표시된다. 또한 개인용 컴퓨터에서 쉽게 작동할 수 있는 소프트웨어를 적용하였다. 컴퓨터 화면에 관측시간과 태양의 ho, GHA, dec를 입력하는 창을 만들어 운용자가 쉽게 사용할 수 있도록 하여 활용성을 높였다.

셋째, 천문항법의 유용성 재확인이다. 선박이 대양을 항해할 때 항로착오를 확인하는 방법으로 개선된 방법을 적용하면 기존의 방법보다 신속히 위치를 확인할 수 있다. 개선된 방법의 위치 오차는 평균 1.85마일이었으며, 태양의 고도를 정확히 측정할 수 있다면 정확한 위치를 신속히 측정할 수 있다. 또한 기존의 방법은 선박의 위치와 가정위치를 반드시 알고 있어야 위치산출이 가능하지만 개선된 방법은 관측시간과 태양의 ho, GHA, dec를 구하면 위치산출이 가능하기 때문에 GPS고장과 해킹 등으로 항로 착오가 발생하거나 해난사고로 조난 시에도 매우 유용한 항법 수단이 될 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존 천문항법에서 사용하는 선박의 위치 산출과정 중 복잡한 계산 과정과 고도차법에 의한 위치선을 해도에 작도하는 방법을 어떻게 하면 컴퓨터에서 편리하고 활용성 있게 적용할 수 있는지를 연구하였다.

개선된 방법은 계산고도를 구하는 과정과 해도에 위치선을 작도하는 과정을 전산화하여 소프트웨어로 구현하였다.

기존의 방법보다 개선된 방법은 첫째, 항해사의 편리성을 위해 천체의 ho, GHA, dec 값으로 선박의 위치산출이 가능하도록 하였다. 이러한 방법은 위치산출 시간을 많이 단축시켰다. 둘째, 개선된 방법은 컴퓨터에서 사용가능한 소프트웨어로 구현하여 항해사의 활용성을 높였다. 또한 컴퓨터 화면에 위치가 경위도로 표시되도록 하였다. 셋째, 개선된 방법의 위치오차가 평균 1.85마일로서 항법수단으로 유용성을 확인할 수 있었다. 따라서 개선된 방법에서 천체의 고도를 보다 정확히 관측할 수 있다면 위치 산출시 마다 오차 범위를 줄일 수 있을 것이다.

기존의 방법은 1990년대 GPS 항법이후 계산과정이 복잡하고 위치 산출에 시간이 많이 걸리며 해도에 작도를 해야 하는 등의 어려움으로 활용성이 급격히 저하되었다. 또한 항해사의 계산속도, 해도 작도능력, 과다한 위치오차 등으로 인해 선박의 위치산출에 많은 어려움을 겪었다. 개선된 방법을 적용한 위치산출 실험으로 시간 단축과 위치 오차범위 축소, 가정위치 없이 위치산출 등 의미 있는 결론을 얻을 수 있었다.

본 논문에서 제안된 방법을 바탕으로 향후 섹스탄트의 고도를 입력할 수 있는 센서가 결합되고 소프트웨어를 적용할 수 있는 임베디드 섹스탄트의 구현이 가능할 것으로 사료된다.

20세기 초 영국의 탐험가 새클턴은 남극탐험 중 조난을 당하여 소형보트로 웨들해를 건널 때 식량보다 섹스탄트와 항해연감을 실었다[8]. 따라서 임베디드 섹스탄트는 선박이 대양을 항해 중 해난사고로 조난이 되었을 경우에 훌륭한 항해장비가 될 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] NK GPS-jamming Disrupted 280 Boats' Fishing Activities [Internet]. Available: <http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2015/10/16/0200000000AKR20151016074400009.HTML>.
- [2] U. S. Naval Academy Reopened Celestial Navigation Curriculum Fearing Computer Hacking [Internet]. Available: <http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2016/04/01/0200000000AKR20160401125500065.HTML>.

- [3] Y. J. Yoon, *Celestial Navigation*, Busan, Korea Maritime University Press, 1999.
- [4] J. Meeus, *Astronomical Algorithms*, Richmond, VA: Willmann-Bell, Inc., 1991.
- [5] T. H. Cutler, *Dutton's Nautical Navigation*, 15th ed. Annapolis, MD:U.S. Naval Institute Press, 2004.
- [6] S. G. Park and Y. G. Park, *Celestial Navigation*, Seoul, Yeon Kyeong Pub., 2010.
- [7] J. H. Karl, *Celestial Navigation in the GPS Age*, 1st ed. California, CA:Paradise Cay Pub., 2011.
- [8] A. Lansing, *ENDURANCE: Shackleton's Incredible Voyage*, New York, NY:Basic Books, 2014.



신희한(Shin-Heui Han)

1990년 해군사관학교 공학사(전자공학과) 졸업
 2008년 해군 호위함 함장
 2014년 해군 잠수함구조함 함장
 2017년 - 현재 해군본부 작전과장
 ※ 관심분야: 센트 네트워크, 임베디드 소프트웨어, 모바일 컴퓨팅



임재홍(Yim-Jae Hong)

1997년-2000년 부산울산지방중소기업청 기술자문위원
 1997년-2000년 부산광역시 사이버해양박물관 구축자문위원
 2006년-2007년 한국해양대학교 정보전사원 원장
 2007년-현재 캐나다 Simon Fraser University 방문교수
 1995년-현재 한국해양대학교 공과대학 전자통신공학과 교수
 ※ 관심분야: 컴퓨터 네트워크, 모바일 컴퓨팅, 유비쿼터스 센서 네트워크