

선박 측위 알고리즘을 이용한 임베디드 섉스탄트 장치의 구현

신희한¹ · 정선재² · 임재홍[†]

(Received November 28, 2018 ; Revised January 7, 2019 ; Accepted February 22, 2019)

Implementation of embedded sextant using ship position algorithm

Heui-Han Shin¹ · Sun-Jea Jung² · Jea-Hong Lim[†]

요약: 20세기 이전까지 대양항해 시 천문항법을 주로 이용하였으나, 20세기에 전파항법이 개발되었고 1990년 이후 GPS(Global Positioning System)항법이 상용화되어 주로 사용되고 있다. 천문항법은 GPS항법에 비해 계산이 복잡하고 시간이 많이 걸리며 해도에 위치선을 작도해야 하는 등 여러 가지 요인으로 사용의 빈도가 현저히 저하되었다. 본 논문의 임베디드 섉스탄트는 천문항법의 측위 방법을 응용하여 측위 알고리즘을 임베디드 모듈에 구현하여 섉스탄트에 장착한 장치이다. 임베디드 모듈은 엔코더에서 입력된 값을 내장된 MCU에서 연산을 수행하여 선박의 위치를 구하는 시스템이다. 천체의 위치는 VSOP 87를 적용하였고 고도개정은 입력 가능한 요소와 계산 가능한 요소로 구분하여 고도개정 기본 수식을 적용하였다. 본 논문에서는 천문항법의 고도차법과 임베디드 섉스탄트를 이용한 방법으로 선위를 산출하여 비교하였다. 그 결과 IT 기술을 적용하여 위치산출이 가능하다는 것을 확인하였다. 임베디드 섉스탄트는 사용자가 전문성 없이 사용이 가능하고 최신 IT 기술을 접목하여 편리성을 향상시켰다. 또한 대양 항해시 GPS 장비의 고장 또는 조난 시에 유용한 항법수단이 될 수 있을 것으로 사료된다.

주제어: 천문항법, 섉스탄트, 임베디드, IT 기술

Abstract: Prior to the twentieth century, celestial navigation was used to a large extent in ocean voyages, despite there being developments in radio navigation since then. However, navigation by the global positioning system (GPS) is now commercialized and mainly in use since 1990. Moreover, celestial navigation is more complicated and time-consuming than navigation by the GPS. Its frequency of use was significantly lowered due to various factors such as the need to construct a line of position on the nautical chart. An embedded sextant is a device that implements the positioning algorithm in the embedded module by using the astronomical navigation positioning method and an embedded module is a system that determines the position of the ship by calculating the value input from the encoder in the built-in MCU. The VSOP 87 was applied to the position of the celestial body and the altitude correction formula was applied. The altitude correction was then divided into input and calculation elements. In this study, the altitude method of astronomical navigation and the embedded sextant were used to calculate the position. Consequently, it was confirmed that it is possible to calculate the position by applying information technology (IT). The embedded sextant can incorporate the latest technology and is convenient even for users who lack the expertise. It is expected to be a useful means of navigation in the event of the malfunctioning of a GPS device or a situation of distress in ocean navigation.

Keywords: Celestial navigation, Sextant, Embedded, IT

1. 서론

바다는 지구 표면의 70.8%를 차지하고 있으며 대륙을 연결하는 통로이면서 장애물이기도 하다. 통로로서의 바다는 배를 통해 대륙 간의 자원을 수송하는 공간이면서 이동수단이 없으면 장애물이기도 하다.

인간은 선사시대부터 통로이자 장애물인 바다에 대해 경외심을 가지고 있었다. 16세기 마젤란의 세계일주 이후 바다는 장애물에서 통로의 공간이 되었다. 수송수단으로서 선박은 가장 경제적인 수단이다. 그러나 대륙의 저편에 닿기 위해서는 항행하는 선박의 위치가 대단히 중요한 요소

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4978-9298>): Professor, Major of Electronics & Communications Engineering, Division of Electronics and Electrical Information Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: jhyim@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4318

1 Commander of Squadron, Naval Special Warfare Flotilla, Republic of Korea Navy, E-mail: shh5605@hanmail.net, Tel: 055-549-3100

2 Ph.D Candidate, Department of Electronics & Communications Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: sjaej@outlook.com, Tel: 02-525-2023

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.

이다. 인간은 바다에서 선박의 위치를 산출하기 위해 많은 시간과 노력을 투자하였다.

대양을 항해하는 선박들은 20세기 이전까지 천문항법을 사용하였고 20세기 이후 전파항법이 개발되었다[1]. 1990년 이후에는 위성을 기반으로 하는 GPS항법을 주로 사용하고 있다. 천문항법은 GPS항법에 비해 위치 산출에 시간이 오래 걸리고 계산이 복잡하며 해도에 직접 작도를 해야 한다. 이러한 여러 가지 요인으로 인해 사용의 빈도가 현저히 낮아졌다. GPS항법 장치는 선위를 신속하고 정확하게 알 수 있는 반면, 전원과 별도의 장비가 필요하다. GPS 장비의 고장이나 해킹, 교란 등으로 선위 산출이 제한될 경우 또는 조난 시를 대비하여 보조 항법수단은 필수적인 요소이다.

천문항법은 복잡한 절차와 시간이 오래 걸리는 단점을 보완하면 보조 항법수단으로서 유용할 것으로 사료된다. 임베디드 섹스탄트는 기존의 천문항법 측위 방법을 응용한 선박 측위 알고리즘을 적용한 장치이다. 해당 천체의 위치는 VSOP 87을 적용하여 계산식이 내장된 MCU에서 구하였다. 고도개정은 입력 가능한 요소와 계산 가능한 요소를 구분하여 계산식을 적용하였다.

본 논문에서는 관련 서적과 논문을 연구 분석하고 고안된 선박 측위 알고리즘을 임베디드 섹스탄트에 적용하여 시험을 진행하였다. 첫째, 천문항법 관련 서적과 수로지, 연구 논문 등을 검토하였으며, 둘째, 고안된 선박 측위 알고리즘을 하드웨어와 소프트웨어를 결합하여 임베디드 형태로 섹스탄트에 적용하였다. 셋째, 대상 천체를 태양으로 선정하고 기존의 측위 방법과 임베디드 섹스탄트의 측위 방법을 동시에 진행하여 시험하였다. 넷째, 시험의 결과를 비교 분석하고 평가 결과를 바탕으로 임베디드 섹스탄트의 활용 가능성을 연구하였다.

본 논문은 총 5장으로 구성하였다. 1장 서론에서는 논문의 개요, 연구의 목적과 방법을 기술하였고, 2장은 천문항법의 개요, 고도차법에 의한 선위 측위 방법과 단점에 대해 기술하였다. 3장은 임베디드 섹스탄트의 개요, 선박 측위 알고리즘과 임베디드 섹스탄트 장치의 구현을 기술하였다. 4장은 시험환경을 구축하여 시험 및 평가를 통해 산출된 결과를 평가하였다. 5장은 연구의 결론과 향후 활용방향을 제시하였다.

2. 천문항법의 고찰

2.1 섹스탄트를 이용한 측위

항해사는 출항지에서부터 입항지까지 선박의 속력을 고려하여 항해계획을 작성한다. 선박의 안전한 항해를 위해서는 바다에서 선박의 위치가 매우 중요하다. 항해사는 선박의 출항 시부터 입항 시까지 선박의 위치를 측위하여 해도에 기점한다. 이러한 방법은 전자해도가 보급되기 전까지 여러 가지 항법수단을 이용하여 항해에 적용하였다.

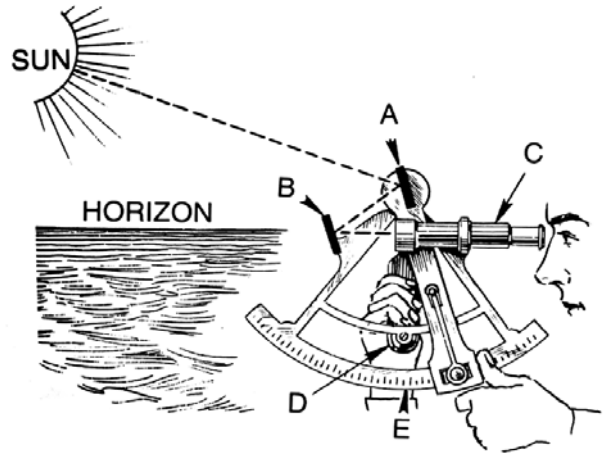


Figure 1: Sighting using the Sextant [2]

천문항법은 여러 가지 항법 수단 중의 하나이며 섹스탄트를 이용하여 천체의 고도를 측정하여 선박의 위치를 측위하는 방법이다. 섹스탄트는 두 물표 간의 각을 측정하는 기구이며 Figure 1은 섹스탄트를 이용하여 태양의 고도를 측정하는 방법을 나타낸 것이며 그림에서 A: 동경, B: 수평경, C: 망원경, D: 손잡이, E: Limb이다. 섹스탄트의 고도 오차는 섹스탄트 기차개정(IC: Index correction), 안고차(Dip: Dip of horizon), 기차(R: Refraction), 시차(P: Parallax), 시반경(SD: Apparent semidiameter), 시반경 증가율(A: Augmentation of apparent semidiameter), 광삼(J: Irradiation), 위상(F: Phase) 등이 있다[3]. 섹스탄트를 이용하여 위치를 구하고자 할 때에는 위치의 오차를 발생시키는 여러 요인들 중 섹스탄트 기구의 오차를 반드시 보정해야 하며, 보정하는 방법은 여러 가지 수단을 잘 활용할 수 있어야 한다 [4]. 또한 천문항법은 천측력, 천측력 계산표, 섹스탄트, 삼각자, 컴퍼스, 해도, 시진의 등이 구비되어야 하며 주간 중에는 태양, 야간 중에는 4개의 행성과 57개의 항성의 고도를 측정하여 위치를 산출 한다. 천측력은 선박이 대양을 항해할 때 천체의 고도 및 방위각 측정에 필요한 태양, 달, 행성, 항성의 위치를 비롯하여 선박의 위치를 구하는 데 편리하도록 편집한 항해서지이다[5]. 천측계산표는 천측력과 함께 사용되며 항해 삼각형의 모든 해법을 얻을 수 있도록 마련한 것이며 고도차법을 활용하여 위치결정을 빠르고 쉽게 할 수 있도록 하였다[6].

2.2 고도차법에 의한 선위 측위

천문항법 중 가장 보편화 된 고도차법은 선위를 측정하고자하는 시간의 예정 위치 부근에 선박의 가정위치를 선정하고 가정위치에서 천체의 고도를 천측계산표를 이용하여 계산고도(hc, calculated altitude)를 구한다. 천체의 관측고도와 계산고도의 차이를 해도에 작도하여 선박의 위치를 산출한다.

섹스탄트로 천체를 측정하여 얻은 고도를 섹스탄트고도(hs, height sextant)라 부르며 이를 진고도로 고치기 위해서

는 여러 가지 개정을 하여야 하는데 섹스탄트고도를 개정하여 구한 고도를 관측고도(ho, observed altitude)라고 부른다. 이 고도는 항해삼각형을 계산으로 풀어서 얻은 천체의 계산고도와 비교하여 고도차를 구하고 위치선을 결정하는데 필요한 고도이다[3].

천체의 계산고도는 천체의 GHA(Greenwich Hour Angle), dec(declination, 적위), LHA(Local Hour Angle, 지방시), 가정위치 값으로 천측계산표에서 구한다. 먼저 천체의 GHA, dec값은 고도 측정 시간(LMT)를 GMT로 환산하여 천측력에서 구한다. 또한 이를 전산화하여 원활한 천측력의 값을 구하고자 한다면 이에 대한 적절한 전산프로그램을 이용하여 구하는 것도 가능하다[7]. 천체의 계산고도 값은 천체의 GHA를 고려하여 예정위치 인근에서 가정 경도를 선정하고 LHA를 구한다. 가정 경도의 값은 천체의 GHA값과 더한 값이 정수가 나오도록 선정하고 30'이내의 값으로 정한다. LHA값이 정수가 되어야 천측계산표에서 계산고도를 구할 때 활용이 가능하다. 선박의 가정위도는 예정위치 인근에서 정수의 가정위도를 선정한다. 천체의 LHA, dec, 선박의 가정위도를 이용하여 천측계산표에서 천체의 방위와 계산고도(hc)를 구한다. 천체의 관측고도(ho)와 계산고도(hc)의 차를 구하여 관측고도가 크면 천체방위 쪽으로, 계산고도가 크면 천체방위의 반대쪽으로, 고도차만큼 해도 위에 선박의 위치선을 천체방위에 직각되게 작도한다[8]. Figure 2는 항해사가 천체의 관측고도와 계산고도 값을 구하고 난후 고도차법을 이용하여 천체방위에 직각이 되게 선박의 위치선을 작도하는 모습이다.



Figure 2: Plotting on Nautical Chart [9]

측위는 주간에는 격시 관측 방법을, 야간에는 동시 관측 방법을 사용한다. 선박의 위치산출은 최소 2개 이상의 위치선이 필요하고 위치선의 교차된 지점이 측위 지점이 된다. 천문항법으로 위치를 산출하는 데까지 걸리는 시간은 항해사의 숙련 정도에 따라 10분에서 15분정도 소요된다.

2.3 천문항법의 활용 가능성

GPS(Global Positioning System, 위성항법 시스템)는 미국이 군사용으로 개발한 위성항법 시스템 중 하나로, 1990년 이후 민간에 개방되면서 항공·선박·자동차 등에 상용화되었다[10].

그러나 2016년 4월 1일 북한의 2차 GPS 교란 전파가 발사돼 어선 등 280여척의 GPS 플로터가 오작동했다[11]. 미해군 사관학교에서는 지난 1998년 GPS보다 정확도가 떨어진다는 이유로 천문항법 과목을 폐지했다가 최근 컴퓨터의 해킹 문제가 불거지면서 해킹과 무관한 천문항해술을 신입생도 들에게 가르치기 시작했다[12].

구시대적 유물인 천문항법은 최첨단 시대에도 유용한 항법수단으로서 활용이 가능하다고 사료된다.

3. 선위 측위 알고리즘

3.1 선위 측위 알고리즘의 구현

Figure 3은 선위 측위 알고리즘의 개념으로 천체의 관측부터 계산결과를 산출 후 자료가 저장되는 것을 나타낸 것이다. 선박 측위 알고리즘은 천의 북극, 대상 천체의 지위(ho, GHA, dec)와 대상 천체의 위치선을 응용하여 고안된 수식을 임베디드 장치로 구현하였다. Figure 4는 태양의 격시관측한 예시로 오전 10시와 오후 2시에 각 1회 관측한 것을 그림으로 나타낸 것이다.

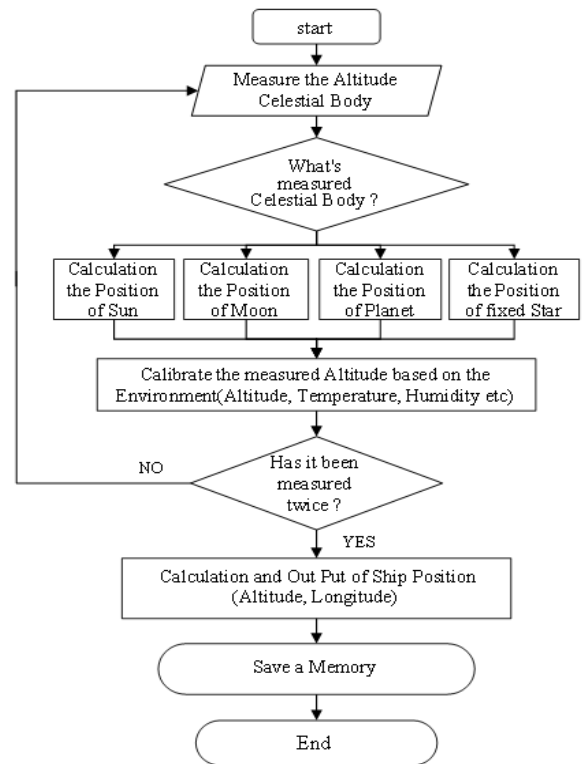


Figure 3: Ship Position Algorithm Computation Block Chart

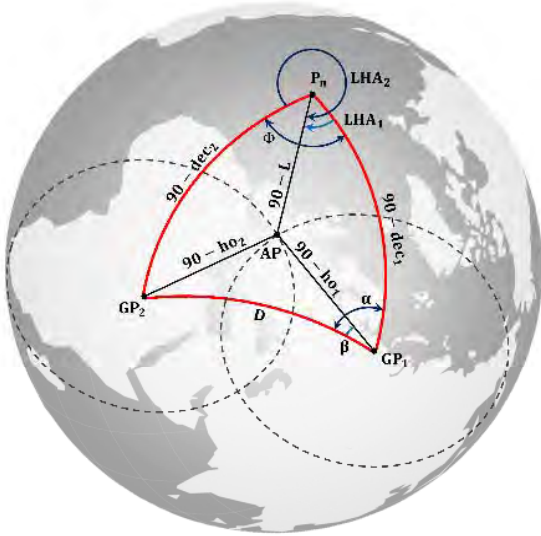


Figure 4: Observation of Sun Altitude from 10 a.m. to 2 p.m. [9]

Figure 4에서 적색 삼각형의 세 꼭지점은 P_n , GP_1 , GP_2 이다. 그리고 선박의 위치는 적색 삼각형의 중심점인 AP 이다.

GP_1 과 GP_2 사이의 거리를 D 라고 하면 구면 삼각함수를 적용하여 사이각에 대응하는 변의 길이(D)를 구할 수 있다. 사이각(ϕ)는 천의 북극(P_n)을 기준으로 오전 태양의 위치(GP_1)와 오후 태양의 위치(GP_2)와의 사이 각을 말한다.

식 (1)은 사이각(ϕ)를 구하는 식이며 식 (2)는 GP_1 에서 GP_2 까지 거리(D)를 구하는 식이다. GHA_1 은 GP_1 , GHA_2 는 GP_2 의 값이다.

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

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

AP 는 P_n 과 GP_1 의 삼각형의 꼭지점이며 AP 의 여적위 값을 구하여 위도(Lat)를 산출한다. 위도의 대응하는 각은 Figure 4의 α 에서 β 를 뺀 값이다. 식 (3)과 식 (4)는 D 를 이용하여 α 와 β 값을 구하는 식이며 식 (5)는 AP 의 위도를 구하는 식이다[13].

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

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

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

AP 의 경도는 GP_1 에서 LHA_1 의 값을 빼거나 더하면 GHA_{ap} 가 산출 된다. 식 (6)은 LHA_1 를 구하는 식이며 식 (7)

은 GHA_{ap} 값을 구하는 식이다. 오전에는 AP 가 GP_2 의 왼쪽에 위치하므로 LHA_1 를 더하고 오후에는 GP_1 의 왼쪽에 위치하므로 LHA_1 를 빼준다. GHA_1 은 GP_1 의 GHA 값이고 GHA_2 는 GP_2 의 GHA 값이다.

$$\cos(LHA_1) = \sin(ho_1) - \frac{\sin(L)\sin(dec_1)}{\csc(L)\cos(dec_1)} \quad (6)$$

$$GHA_{ap} = GHA_1 \pm LHA_1 \quad (7)$$

GHA_{ap} 값이 180도 이내이면 W(서경)을, 180도 이상이면 360도에서 GHA_{ap} 값을 뺀 값에 E(동경)을 붙인다.

선위 측위의 소프트웨어를 컴퓨터에서 구현 할 때에는 항해사가 섹스탄트로 태양의 고도를 2회 측정하고 기존의 방법으로 천측력에서 GHA , dec , ho 을 구한다. 이 값을 컴퓨터의 프로그램에 입력하면 선박의 위치가 위도와 경도로 산출되도록 구현하였다[9].

본 논문에서는 천측력을 이용하지 않고 해당 천체의 좌표(GHA , dec)와 관측고도(ho)를 임베디드 장치에서 값을 구하도록 하였다.

태양의 좌표에 대한 정확도가 0.01°로 충분할 때 태양의 지리적 중심의 위치는 순수하게 지구의 타원 운동을 가정함으로써 계산이 가능하다[4]. VSOP(Variations Séculaires des Orbites Planétaires) 82는 수성부터 해왕성까지의 주요 행성의 각각의 장기적인 주기로 구성되어 있다[14]. 천측력에 수록된 자료의 정확도는 0.1' 이며 최대 0.2' 의 오차가 날 수 있다[5]. 매우 높은 정확도인 0.01" 는 완전한 VSOP 87이론을 사용할 시 달성 가능하지만 지구의 경우 이 이론은 2425개의 주기를 가진다. -2,000년부터 +6,000년간 태양의 위치 계산시 1" 의 정확도를 초과하지 않는 프랑스식 행성 이론 VSOP 87를 통해 도출한 주기표를 포함한다[4]. 본 논문에서는 VSOP 87를 적용하여 천체의 위치를 계산하였다.

고도 개정은 지구표면상에 있는 관측자가 측정한 천체의 섹스탄트 고도를 지구중심에서 측정한 천체의 중심고도 즉 그 천체의 진고도로 개정하며 천체별로 몇 가지 요소를 개정하면 된다[3]. 천체별로 고도 개정의 기본수식을 알고리즘으로 구현하였다.

$$Sun LL : Ho = hs \odot \pm IC - D + SD + P \quad (8)$$

$$Planet \cdot Fixed \star : Ho = hs \pm IC - D - R + P \pm F \quad (9)$$

$$Moon LL : Ho = hs \text{ (} \pm IC - D - R \pm SD + A + P \text{)} \quad (10)$$

3.2 임베디드 섹스탄트 장치 구현

임베디드 섹스탄트의 장치는 기존 섹스탄트의 프레임에 센서와 연산장치, 액정화면, 배터리로 구성된 임베디드 모

들을 부착하였다. 장치의 작동 전원은 충전식 건전지를 사용하였으며 5Volt 2Ampere를 사용하였다.

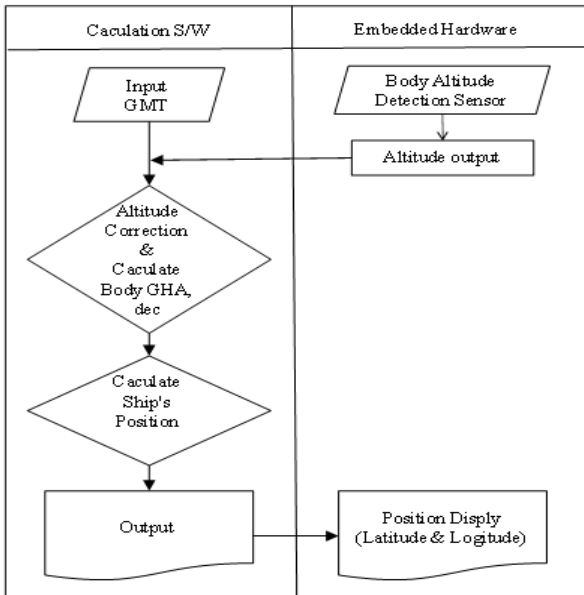


Figure 5: Block Diagram of Embedded Module

Figure 5는 개발한 임베디드 모듈의 동작과정을 블록도로 도식화 한 것이다.

선위 측위 임베디드 모듈과 PC는 JTHG SWD(Serial Wier Debug) 인터페이스를 이용하여 선위 측위 알고리즘을 Cortex-M4 MCU(Micro Controller Unit)에 직접 프로그래밍 하였다.

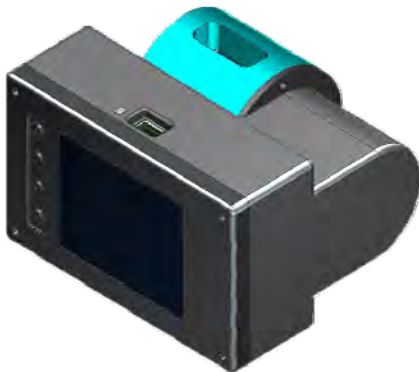


Figure 6: Embedded Module

선위 측위 임베디드 모듈은 엔코더로부터 전달받은 각도 정보와 내부 RTC(Real Time Clock)를 통해 유지되고 있는 시간정보를 이용하여 선위를 연산한다. Figure 6은 선위 측위 임베디드 모듈의 형상이다. 기기는 내부에 전원공급을 위한 2차 전지가 포함되며, Micro-USB 포트를 이용하여 충전 및 펌웨어 업데이트가 진행된다. 기기에는 전원 제어 및 장비 조작을 위한 물리적 버튼이 4개 포함되며, 해당 버튼을 통해 선위 측위 임베디드 모듈의 조작이 가능하다.

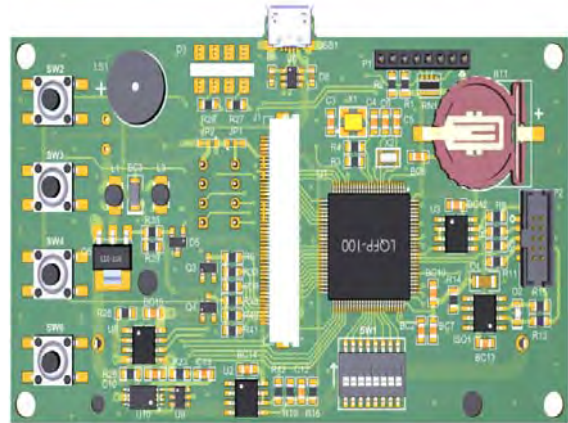


Figure 7: Embedded PCB Artwork

Figure 7은 선위 측위 임베디드 모듈의 PCB 렌더링 형상이다. 선위 측위 임베디드 모듈의 성능 및 기능 구현은 엔코더에서 전달받은 데이터를 각도값으로 변환하여 사용자의 측정 고도를 산출한다. 저장된 시간 정보를 기반으로 사용자가 입력한 천체에 대한 지위 정보를 연산하여 GHA, dec의 형태로 메모리상에 저장하며, 천체와 지구 간의 거리를 연산하여 meter 단위로 메모리상에 저장한다. 사용자가 이동하였을 경우 Course와 Speed를 입력받아 첫 번째 관측에 대한 지위 정보를 보정하여 메모리상에 저장한다. 사용자에 의해 입력된 온도, 기압, 높이 정보 및 연산된 천체와 지구간의 거리 데이터를 이용하여 사용자가 관측한 고도를 보정하여 메모리상에 저장한다. 보정된 고도 및 지위 정보를 이용하여 선위를 연산하여 사용자가 확인이 가능하도록 화면으로 출력한다.

Table 1: Calculated Ship Position Module Specification

Item	Specification
MCU	Cortex-M4
Memory	SRAM 192Kbytes
Flash Memory	1Mbyte
Interface	LCD Parallel
Oscillator	4 to 26 MHz
RTC	32 kHz Oscillator



Figure 8: Single Turn Type Encoder

Table 1은 임베디드 섹스탄트의 선위 측위 모듈에 대한 제원이다. 특성으로 Cortex-M4 코어 기반의 MCU를 사용하였으며 RTC가 내장되어 있다.

엔코더는 섹스탄트의 Index Arm과 물리적으로 연결되어 Index Arm의 이동량을 정확하게 측정하여 실시간으로 선위 측위 임베디드 모듈로 물리량을 전달한다. Figure 8는 해당 제품의 사진이다.

엔코더의 성능 및 기능 구현은 섹스탄트의 Index Arm과 물리적으로 연결되어 있어 0.00027° (1") 이상의 Index Arm 움직임을 정확하게 인식하여 선위 측위 임베디드 모듈로 전달한다.

Table 2는 임베디드 섹스탄트에 장착된 엔코더의 제원이다. Index Arm의 위치를 정확하게 측정하기 위해 Single turn Type의 엔코더를 사용하였으며 5볼트의 전원으로 구동된다.

Table 2: Single Turn Type Encoder Specification

Item	Specification
Type	Single turn
Dimension	Φ 36 mm
Protection	Max IP67
Speed	max 12,000 / minute
Supply Voltage	5Volt DC
Resolution	max 21 bit

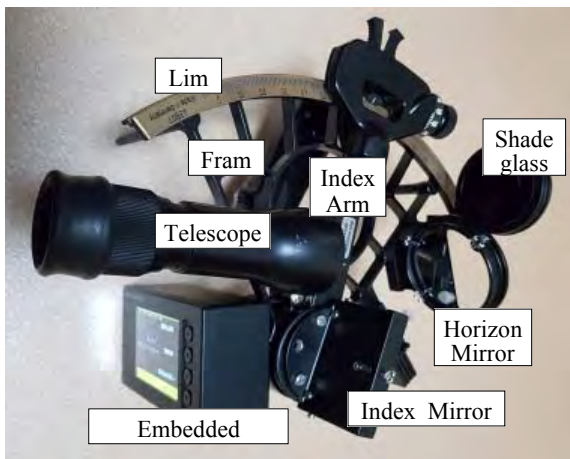


Figure 9: Embedded Sextant Figure

Figure 9은 임베디드 섹스탄트의 형상이며 섹스탄트 프레임 부분에 임베디드 모듈을 부착하였다. 액정화면은 사용자의 편리성을 위해 컬러화면을 적용하였으며 메뉴 선택 버튼은 액정화면 옆에 화면을 보면서 메뉴를 선택할 수 있게 별도로 구성하였다.

버튼의 기능은 전원 On/Off, 메뉴 상하 이동, 선택/실행이며 사용하는 방법은 화면에서 메뉴를 선택하고 버튼을 누르면 실행된다. 각도의 입력은 섹스탄트의 마이크로 드럼

을 멈추면 엔코더가 각도 값을 인식하여 화면에 표시된다. 값의 입력은 마이크로 드럼을 2초 이상 움직이지 않으면 화면에서 숫자가 적색에서 녹색으로 변하고 이때 선택 버튼을 누른다. 관측자가 해당 천체의 고도를 2회 이상 격시 관측하거나, 2개의 해당 천체를 동시관측하면 선박의 위치가 경도와 위도값으로 산출된다.

4. 시험 및 평가

4.1 시험의 환경

임베디드 섹스탄트의 목적은 누구나 쉽게 사용이 가능하고 위치를 확인 할 수 있어야 하는 점을 고려하여 일반인 2명을 관측자로 선정하였다.

시험 천체는 누구나 식별 가능한 태양으로 선정하였으며 수평선이 잘 보이는 날씨를 고려하여 파고는 1미터 내외, 시정은 5마일 이상의 환경에서 시험하였다.

시험 장소는 실제 선박에서 적용해야 하나 선박을 이용하는 데 어려운 점을 고려하였다. 또한 시험 참가자의 섹스탄트 운용 능력을 고려하여 수평선을 쉽게 볼 수 있고 태양의 하현을 수평선에 맞추기 쉬운 점을 고려하여 부산시 인근 해안으로 선정하였다. 시험 기간은 2018년 5월 5일부터 5월 10일까지 3일간이며 관측자 2명이 시험에 참가하였다.

천문항법에서 위치의 정확도는 관측된 고도값의 정확성에 많이 좌우된다. 관측고도의 오차 원인에는 ① 섹스탄트의 오차, ② 고도 개정표의 오차, ③ 관측 오차, ④ 개인차이며, 개인차는 관측자의 기능과 관측 시의 상황에 따라 다르고 일반적으로 고도변화가 빠른 시기에 최대로 된다[3].

관측고도가 60°의 등고권의 반경은 여고도 30°×60°으로 1,800NM이나 되고 관측고도 80°인 등고권의 반경도 10×60°으로 600NM이다 된다. 1~2NM의 위치의 정확성을 보장할 만한 소축적 해도로서 이와 같은 방대한 길이의 반경을 가진 원을 그릴만한 해도가 없다[8]. 항해사가 반경 1,800NM의 위치권을 해도에 작도 할 수는 없지만, 위치권의 교차점은 항해 삼각형을 응용하여 계산식으로 구할 수는 있다.

따라서 본 논문에서는 계산식을 IT 기술에 접목한 방법으로 선위 측위의 가능여부를 확인하였다. 이를 위해 기존의 방법인 고도차법과 임베디드 섹스탄트를 이용한 측위를 동시에 시험하였다.

4.2 시험 및 평가

1차 Test는 2018년 5월 5일 10:00시부터 12:00시까지 부산시 영도 해안에서 2명이 태양의 하현을 총 6회 관측하였다. 관측위치는 N 35° 4.151' / E 129° 5.456' 이고 파고 0.4m, 시정 10.5NM, 온도 18℃, 기압 1017hPa이며 측정 시간고는 6m이다. Table 3은 태양의 하현을 관측하여 얻은 측위의 결과이며 관측시간의 태양의 ho, GHA, dec 값이다. 경위도 좌표는 임베디드 섹스탄트로 측위한 위치와 고도차법으로 작도하여 얻은 위치이다.

Table 3: 1st Observed Sun Altitude & Calculated Position

Observer-ver	Time	ho	GHA	dec
A	10:21:49	57°27.3'	201°16.5'	N16°11.4'
	10:36:57	60°10.3'	205°03.5'	N16°11.5'
B(1)	10:22:37	57°34.7'	201°28.5'	N16°11.4'
	10:40:03	60°42.5'	205°50.1'	N16°11.6'
B(2)	11:07:41	68°12.0'	212°44.5'	N16°12.0'
	11:30:28	71°10.5'	218°26.1'	N16°12.3'

Observer-ver	Output Embedded Sextant	Resulted Altitude difference method
A	N34°50.6', E128°58.1'	N35°03.0', E129°16.3'
B(1)	N34°25.0', E128°37.8'	N34°32.9', E128°40.3'
B(2)	N35°03.0', E129°02.0'	N34°51.7', E129°06.2'

2차 Test는 2018년 5월 9일 13:30시부터 16:30시까지 부산시 다대포 해안에서 2명이 태양의 하현을 총 5회 관측하였다. 관측위치는 N 35° 2.792' / E 128° 57.862' 이고 파고 0.9m, 시정 10.7NM, 온도 15°C, 기압 1020hPa이며 측정 시 안고는 8m이다. Table 4는 Table 3에 비해 태양의 고도가 낮아지고 있는 것을 볼 수 있다. 반면 GHA는 계속 증가하고 있으며 dec의 변화는 작은 것을 알 수 있다. Table 3은 오전에 태양을 관측한 것이며 Table 4는 오후에 태양을 관측하여 얻은 측위의 결과이다.

Table 4: 2nd Observed Sun Altitude & calculated Position

Observer-ver	Time	ho	GHA	dec
A(1)	13:46:48	63°51.9'	252°35.3'	N17°20.1'
	14:21:09	57°52.7'	261°10.7'	N17°20.6'
A(2)	14:21:09	57°52.7'	261°10.7'	N17°20.6'
	16:12:09	35°48.7'	288°56.8'	N17°21.7'
B(1)	14:01:24	61°28.9'	256°14.4'	N17°20.3'
	14:13:14	59°17.1'	259°11.9'	N17°20.5'
B(2)	14:13:14	59°17.1'	259°11.9'	N17°20.5'
	14:19:11	58°48.7'	288°56.8'	N17°21.7'

Observer-ver	Output Embedded Sextant	Resulted Altitude difference method
A(1)	N34°33.6', E129°20.8'	N34°55.4', E129°07.0'
A(2)	N34°41.8', E129°04.2'	N34°09.0', E129°06.2'
B(1)	N33°49.4', E129°40.2'	N34°31.5', E128°58.0'
B(2)	N34°43.0', E129°09.5'	N34°50.2', E129°10.3'

3차 Test는 2018년 5월 10일 10:30시부터 15:30시까지 부산시 다대포 해안에서 2명이 태양의 하현을 총 4회 관측하였다. 관측위치는 N 35° 2.792' / E 128° 57.862' 이고 파고 0.4m, 시정 9NM, 온도 14~16°C, 기압 1021~1023hPa이며 측정 시 안고는 10~12m이다. Table 5는 오전부터 오후까지 태양을 관측하여 얻은 측위결과이다.

Table 5: 3rd Observed Sun Altitude & Calculated Position

Observer-ver	Time	ho	GHA	dec
A	10:59:56	64°51.5'	210°52.9'	N17°34.1'
	11:20:14	68°04.5'	215°57.4'	N17°34.4'
B	14:42:38	53°55.8'	266°33.5'	N17°36.6'
	15:08:20	48°57.7'	272°59.0'	N17°36.9'

Observer-ver	Output Embedded Sextant	Resulted Altitude difference method
A	N34°02.2', E127°56.8'	N34°20.6', E128°07.0'
B	N35°31.1', E128°47.2'	N35°40.1', E128°44.2'

Table 6은 위치오차와 측위법 간의 오차를 종합한 것이다. 위치오차는 시험장소로부터 임베디드 섉스탄트와 고도차법으로 측위한 위치오차이며 측위법 간의 오차는 임베디드 섉스탄트와 고도차법으로 측위한 위치 간의 거리이다. 먼저 위치오차 중 임베디드 섉스탄트의 평균 위치오차는 36.98NM이며 최소 3NM에서 최대 82.6NM이다. 고도차법의 평균 위치오차는 30.1NM이며 최소 13NM에서 최대 59.4NM이다.

임베디드 섉스탄트와 고도차법의 측위방법 간의 위치오차는 평균 19.9NM이며 최소 7.6NM에서 최대 56.1NM이다.

Table 6: Position error & Method error

Observer	Position error		Method Error	
	Embedded	Altitude difference		
1st	A	15NM	9.8NM	18NM
	B(1)	46NM	38NM	8.2NM
	B(2)	3NM	13NM	12NM
2nd	A(1)	34.2NM	10.5NM	24.2NM
	A(2)	21.4NM	54.1NM	23NM
	B(1)	82.6NM	30.4NM	56.1NM
	B(2)	21.3NM	15.8NM	7.6NM
3rd	A	78.9NM	59.4NM	20.5NM
	B	30.4NM	39.9NM	9.5NM
Average		36.98NM	30.1NM	19.9NM

상기 시험의 내용을 기반으로 본 연구의 선위 측위 시험 결과는 IT 기술을 접목하여 선위를 구할 수 있다는 것을 알 수 있다. 임베디드 섉스탄트로 측위한 위치의 평균 오차는 36.9NM로서 측위에 대한 정확도는 낮다고 볼 수 있다. 그러나 최대 위치오차 82.6NM은 각도 값으로 환산하면 1.37° 이고, 평균 위치오차 36.9NM은 0.615°이다. 관측 시간의 천체 위치(GHA, dec)는 오차가 없으므로 섉스탄트로 관측하는 천체의 고도는 여러 가지 요인으로 오차가 발생한다. 따라서 관측고도 값이 위치오차에 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 오차에 대한 원인 분석과 범위에 대해 정량화를 하지 못했지만 IT 기술을 접목하여 선위를 구할 수 있는 가능성은 확인되었다고 사료된다.

5. 결 론

본 논문에서는 1990년 이후 위성을 기반으로 하는 GPS 방법이 일반화 되면서 위치 산출에 시간이 많이 소요되고 계산절차가 복잡한 천문항법의 활용도가 급격히 저하되었다. 그러나 최근 GPS 교란, 해킹 등으로 일부 피해가 발생하여 이에 대한 대안으로 천문항법을 모색하게 되었다.

기존 천문항법의 위치 산출 절차를 이해하고 최신 IT기술과 접목 가능한 부분을 식별하여 선박 측위 알고리즘을 고안하였다. 임베디드 섹스탄트는 선박 측위 알고리즘을 임베디드 모듈에 구현하여 기존의 섹스탄트에 장착한 장치이다. 천체의 위치는 천측력 대신 VSOP 87과 고도개정 수식을 적용하여 MCU에 선위 측위 알고리즘을 프로그래밍하여 계산으로 구하였으며 고도값은 엔코더를 통해 임베디드 모듈에 입력되도록 하였다.

임베디드 섹스탄트는 첫째, 관측자가 고도의 전문성 없이 선위의 측위가 가능하다. 기존의 천문방법은 숙련된 항해사가 복잡한 계산 절차와 해도에 작도를 해야 위치 산출이 가능하였다. 그러나 임베디드 섹스탄트는 사용자가 간단한 운용 방법을 습득하면 장치를 이용하여 선박의 측위가 가능하다는 것을 알 수 있다. 둘째, 첨단 IT기술을 접목하여 사용자의 편리성을 향상시켰다. 기존의 천문항법은 천측력 등 항법관련 서지와 해도, 계산시트지 등 휴대품목이 다양한 반면에 임베디드 섹스탄트는 기존의 섹스탄트에 임베디드 모듈을 장착하여 휴대가 용이하고 관측된 결과를 저장하고 활용이 가능하다. 셋째, 항법장비 고장 또는 조난시에 임베디드 섹스탄트로 선위 측위가 가능하다. 모듈에 RTC와 배터리가 내장되어 있어 구명벌에서 사용이 가능하다.

20세기 초 영국의 탐험가 새클턴은 남극탐험 중 조난을 당하여 소형 보트로 남극의 웨들해를 건널 때 식량보다 섹스탄트와 항해연감을 실었다[15]. 임베디드 섹스탄트는 휴대하기가 용이하고 누구나 사용할 수 있어 대양에서 조난시에 유용한 항법수단이 될 수 있을 것이다.

향후 연구에서는 격시관측 시 측위 가능한 최소 시간, 고도별 위치오차 정량화 등을 통해 측위의 정확도를 높이는 연구를 진행할 예정이다. 제안된 임베디드 섹스탄트는 위성항법시스템을 이용한 자율운항선박의 개발 등에도 도움이 될 수 있을 것이라 사료된다.

Author Contributions

The following statements should be used “Conceptualization, H. H. shin, S. J. Jung, J. H. Lim; Methodology, H. H. Shin, S. J. Jung; Software, H. H. Shin; Validation, H. H. Shin, J. H.

Lim; Formal Analysis, H. H. Shin; Investigation, H. H. Shin; Resources, H. H. Shin; Data Curation, H. H. Shin; Writing–Original Draft Preparation, H. H. Shin; Writing–Review & Editing, J. H. Lim; Visualization, H. H. Shin; Supervision, J. H. Lim; Project Administration, J. H. Lim; Funding Acquisition, J. H. Lim”.

References

- [1] H. Y. Park and Y. Y. Lee, Radio Navigation Engineering, Busan, Korea: Pukyong National University Press, 2007 (in Korean).
- [2] Light of physics internet, Explore stars, <http://www.light-fizika.ru/index.php?layout=edit&id=192>, Accessed January 7, 2019.
- [3] Y. J. Yoon and S. H. Jeon, Celestial Navigation, Busan, Korea: Korea Maritime University Press, 2013 (in Korean).
- [4] J. Meeus, Astronomical Algorithms, Richmond, VA: Willmann-bell, Inc., 1991.
- [5] Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, 2018 Nautical Almanac, Seoul, Korea: Korea Hydrography and Research Association, 2018 (in Korean).
- [6] Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Sight Reduction Tables for Marine Navigation Vol. III, Seoul, Korea: Korea Hydrography and Research Association, 2014 (in Korean).
- [7] T. H. Culter, Dutton’s Nautical Navigation, 15th ed. Annapolis, MD: U.S. Naval Institute Press, 2004.
- [8] S. G. Park and Y. G. Park, Celestial Navigation, Seoul, Korea: Yeon Kyeong Pub., 2010 (in Korean).
- [9] H. H. Shin and J. H. Lim, “Implementation of improved ship position algorithm using sextant,” Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 21, no. 6, 1243-1251, 2017 (in Korean).
- [10] Electronic Times Internet, Patent war of GPS receive chip, <http://www.etnews.com/200704050068>, Accessed November 14, 2018.
- [11] Yonhap Newstv Internet, NK GPS-jamming Disrupted 280 Boats Fishing Activities, <http://www.yonhapnewstv.co.kr/MYH20160401016900038>, Accessed October 16, 2015.
- [12] Yonhap News Internet, U. S. Naval Academy Reopened Celestial Navigation Curriculum Fearing Computer Hacking, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20151016074400009>, Accessed October 16, 2015.

- [13] J. H. Karl, *Celestial Navigation in the GPS Age*, 1st ed., California, CA:Paradise Cay Pub., 2011.
- [14] P. Bretagnon, “Théorie du mouvement de l’ensemble des planètes. Solution VSOP82,” *Astronomy and Astrophysics*, vol. 114, no. 2, pp. 278-288, 1982 (in French).
- [15] A. Lansing, *ENDURANCE: Shackleton’s Incredible Voyage*, New York, NY:Basic Books, 2014.