JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 4 : 846~854 Apr. 2017

천측을 이용한 방위 보정 장치의 구현

임진국[1] · 임재홍[2*]

Implementation of the Azimuth Correction Device using Astronomical Observation

Jin-Kook Lim[1] · Jae-Hong Yim[2*]

[1]2nd Training Squadron, Republic of Korea Navy 2nd Fleet, Gyeonggi-do 17950, Korea
[2*]Department of Electronics, Electrical and Information Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약

본 논문에서는 과거부터 사용되고 있는 천측 기법을 현대의 IT기술과 접목시켜, 컴파스의 오차를 줄일 수 있는 방안을 제안하였다. 천측을 이용하여 진북을 추출할 수 있는 알고리즘을 정리하여, 이를 적용할 수 있도록 엔코더와 방위환을 결합하고, 각종 표시기 및 연산을 위해 임베디드 시스템을 설계하여 이를 구현하였다. 그 결과 약 0.2° 정도의 오차로 진북을 추출할 수 있었을 뿐만 아니라, 기존에 천측을 통해 대략 5분 이상 소요되던 시간적 불편함도 편의적인 분석과 함께 5초 미만으로 줄일 수 있음을 알 수 있었다. 특히 기존 자이로컴파스의 오차는 물론 IMO의 방위 기준 등을 분석하여 이들의 허용 오차가 0.5° 이하라는 것을 제시하여, 본 논문의 결과가 실제 적용에서 각종 컴파스의 오차를 줄일 수 있는 가치 있는 결과임을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed a method to reduce the error of compass by combining the ceiling technique used in the past with modern IT technology. We combined an encoder and the Azimuth Circle for applying an algorithm. The algorithm is able to calculate the true north by using astronomical observation. Finally, we implemented the embedded system possible to indicate various situations and perform calculations. As a result, it isn't only able to calculate the true north with an error of about 0.2° but also takes less than 5 seconds. Originally, using astronomical observation requires more than 5minutes. So it is analyzed as convenient by solving the problem of taking lots of time. Especially, we present the tolerance less than 0.5° by the analysis of the existing gyrocompass and the bearing standard of IMO. In conclusion, we clearly confirm that the results of this paper are possible to reduce the error of various compasses in a real world.

키워드 : 천문항해, 자기컴파스, 방위, 오차 보정

Key word : Celestial Navigation, Magnetic Compass, Azimuth, Error Correction

Received 10 November 2016, **Revised** 28 November 2016, **Accepted** 01 December 2016

* **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.2017.21.4.846 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/li-censes/ 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

컴파스(Compass)는 항해가 발달된 오늘날에도 여전히 선박의 운항을 위한 가장 중요한 장비이며, 대부분의 국가는 컴파스를 항해 의무 장비로 규정하여 선박의 운항에 반드시 구비하도록 하고 있다.

항해사는 항로를 결정하고, 선박의 위치를 산출한 다음 정확한 방위를 추출하여 선박을 운항한다. 따라서 선박의 효율적인 운항이 가능하도록 컴파스는 정확성을 지속적으로 유지해야 하며, 항해사는 컴파스의 성능이 최적의 상태를 유지할 수 있도록 정기적인 점검 및 방위의 정확성을 상시 확인해야 한다.

정확한 방위를 추출하는 것은 선박의 원활한 항해를 지원하고 최적의 항로를 통해 항해기간을 최소화함으로써 연료절감 등과 같은 경제적 효과를 가져 올 수 있으며, 무엇보다 선박의 안전에 크게 기여할 수 있다.

컴파스는 장비 특성에 따라 기구적, 전자적, 환경적 오차를 가지고 있으며, 시간의 흐름에 따라 오차는 누적되면서 커지게 된다.

본 논문에서는 컴파스의 오차를 보정하기 위해 천측 이후 각종 계산을 통해 진북을 추출하던 과거의 방식을 현대의 IT 기술과 접목시켜 진북을 추출하고 이를 통해 컴파스의 오차를 보정하였다. 연구를 위해 첫째, 과거로부터 잘 알려진 천문항해의 각종 자료들과 계산 기법들의 전산화 가능 여부를 면밀히 검토하였고, 둘째, 천문항해 기법을 전산화가 가능하도록 수식을 유추하였으며, 셋째, 추출된 진북의 정확성 검증을 위한 시험방법을 제시하였고, 넷째, 진북 및 방위추출이 실제 상황에서 원활히 운용될 수 있도록 방위 보정 장치의 구현방법을 제시하였다. 본 논문은 모두 5장으로 구성하였다. 서론에 이어 2장에서는 이론적인 근거를 제시하기 위해 컴파스의 오차와 진북을 추출하는 과정을 설명하였고, 3장에서는 진북 추출 알고리즘 및 방위 보정 장치 구현 과정을 포함하였으며, 4장에서는 시험 환경을 구축하고, 시험 및 평가를 통해 결과값을 산출하고, 정확성을 확인하였으며, 5장에서는 연구의 결과를 정리하였다.

Ⅱ. 컴파스의 오차 및 진북

2.1. 컴파스의 오차

컴파스의 종류는 군사용으로 사용되는 링레이저 자이로(Ring Laser Gyro) 와 광섬유 자이로(Fiber Optic Gyro) 컴파스가 있고, 대부분의 선박에서 사용되는 기계식 자이로 컴파스와 마그네틱 컴파스 등이 있다.

자이로 컴파스는 자이로스코프가 지구의 자전에 무관하게 일정하게 한 방향을 가리키는 원리를 이용하여 회전축이 항상 지구의 북쪽을 가리키도록 함으로써 진북을 표시한다. 자이로 컴파스에는 장비 자체의 결함으로 인한 오차, 적도 이외의 지방에서 발생하는 위도 오차, 항해 중 발생하는 속도 오차, 그리고 과속오차와 동요오차 등이 있다.

마그네틱 컴파스는 지자기장과 상호 작용하는 자석이 남북방향의 자축(Magnetic Pole)을 향하는 것을 이용하는 데 지구상의 남북과 자축이 다르므로 오차가 발생하게 된다. 편차는 지구 자전축의 북(진북)과 마그네틱 컴파스의 북(자북)이 이루는 교각(즉 진북과 자북의 차이)을 말하고, 자차는 마그네틱 컴파스가 주변에 있는 철기류의 영향을 받아서 지자기의 극(자북)을 가리키지 못하고 자북과 다른 방향을 가리킴에 따라 발생하는 차이를 말한다[1].

2.2. 컴파스 오차의 정정

항해 중에 장비 내에서 진북을 산출하거나 수정하는 것은 어려운 일이다. 마그네틱 컴파스는 자북을 가리키고 주변의 철 구조물과 지자기장의 특성에 따라 왜곡이 발생되며, 자이로 컴파스의 경우에도 기계적인 오차나 오랜 사용으로 인한 오차를 항시 내포하고 있다[2].

컴파스의 오차 보정을 위해서는 정확한 진북을 알아야 하는데, 연안을 항해할 때 견시 혹은 레이더 등의 장비를 이용하여 주변의 지형지물을 측정하기도 하고, 대양을 항해하는 경우에는 GPS 위성을 이용하기도 한다. GPS는 현재까지 가장 편리한 방법이지만, 군사적 관점이나 고도의 신뢰성이 요구되어야 하는 경우에서는 전파교란 등의 취약성이 내포되어 있고, 전파에 의한 오차를 가지고 있어 충분한 정확성을 확보하기는 어려운 실정이다.

과거 대양을 항해하는 선박의 항해사들은 태양이나 달, 그리고 각종 천체들을 관측하고 천측력 및 천측계산표 등을 이용하여 진북을 추출하였고, 이를 통해 컴파스의 오차를 수정하기도 하였다.

Fig. 1 Azimuth Circle

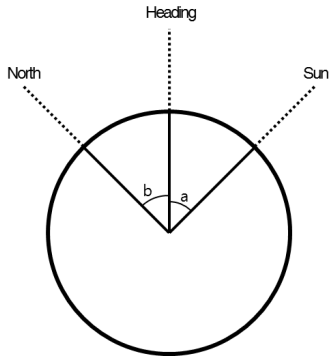

Fig. 2 Observation Example

2.3. 천측을 이용한 진북의 추출

방위환은 특정 물표나 천체의 방위를 측정할 수 있는 장치로써, 진북을 구하기 위해서는 현재의 시각, 위치, 그리고 측정하고자 하는 천체의 방위를 알아야 한다.

그림 1은 Marine Data의 MD69BR 방위환을 나타낸 것으로, 이를 이용하여 진북을 구하기 위해서는 낮에는 태양을 관측하는 것이 보편적이다. 항해사는 방위환을 이용하여 태양의 방위를 관측할 수 있는데, 관측한 시점의 정확한 세계표준시각(Universal Time)을 알아야 한다. 선박의 좌표는 GPS를 이용하여 편리하게 구할 수도 있으나, 만일 그렇지 못할 경우, 추측위치(DR: Dead Reckoning) 또는 Sextant나 지형지물을 이용하여 위치를 구할 수도 있다.

천측력을 이용하여 태양의 방위를 구하기 위해서는 국립해양조사원에서 발행하는 해당년도의 천측력을 이용할 수 있다. 태양의 지위(GP: Geographical Position)는 1시간 간격으로 표시되어 있으며, 해당 시각의 분, 초에 해당하는 정확한 태양의 지위를 산출하기 위해서는 해당 시각의 전, 후 두 시간 간격의 태양 지위를 토대로 보간 계산하여야 한다.

태양의 적도 기준 남북방향의 고도를 나타내는 적위(Dec)는 북회귀선과 남회귀선, 즉 북위와 남위의 23.5°를 넘어가지 않고 하루의 변화량도 크지는 않다[3].

Sight Reduction(천측계산표)는 총 6권의 책으로 이루어져 있으며, 자신의 위치에 대해 지위를 알고 있을 때 진북 대비 방위를 구할 수 있는 표이다. 천측계산표를 통해 선박에서 측정한 태양의 방위가 진북 대비 얼마라는 것을 알 수 있다[4].

이렇게 구한 태양의 방위를 이용하여 Heading이 얼마인지 계산하여야 한다. 이론적으로 그림 2에서 보듯이 특정시간 및 위치에서 태양의 방위를 기준으로, -a는 Heading을 나타내고 -(a+b)는 진북을 가리킨다.

실제 방위환을 태양 방향으로 조준하여 태양을 관측할 때 방위환은 Heading 대비 방위 a를 나타낸다. 그러나 천측계산표에 의해 추출된 태양의 방위는 a+b가 된다. 따라서 Heading의 진북 대비 방위를 구하기 위해서는 태양의 진북 대비 방위값(a+b)에서 기계적인 방위환의 태양 방위(a)를 빼면 진북 대비 Heading의 방위를 구할 수 있다.

Ⅲ. 진북 추출 알고리즘 및 방위 보정 장치의 구현

3.1. 천문항해의 주요 요소

항해삼각형의 세 변은 여위도(Colatitude), 극거리(Polar distance) 및 여고도(Coaltitude)라 하고 세 각은 자오선각(Meridian angle), 방위각(Azimuth angle) 및 위치각(Parallactic angle)이다.

주요 용어로, 지위(GP)는 천체와 지구중심을 연결한 직선이 지구표면과 만나는 점이다. 시각(Hour angle)은 지구상의 어느 기준선으로부터 천체의 시권까지 서쪽으로 0°에서 360°까지 측정한 적도상의 호의 길이 또는 극에서의 각이다. 그리니치 시각 또는 본초시각((GHA: Greenwich Hour Angle)은 본초자오선으로부터 천체의 시각까지이다. 지방시각(LHA: Local hour angle)은 관측자의 천의 자오선으로부터 천체의 시각까지의 시각이다[5]. 적위(Dec.: Declination)는 천체를 지나는 천의 자오선 상에서 천의 적도로부터 천체까지의 호를 말하

며, 천체가 적도의 북쪽에 있으면 부호 N을, 남쪽에 있으면 부호 S를 붙인다[6].

본 논문은 측정하고자 하는 시각에 천체의 정확한 위치를 산출하여 지구 좌표상의 위치(GP)를 파악하고, 알고 있는 관측자의 현재 위치에서 그 천체를 바라보는 각도를 측정함으로써 진북 기준 선박의 Heading 방위를 정밀하게 측정할 수 있다는 것을 정리하였다.

3.2. 방위 추출 알고리즘의 구현

Napier's analogie에 의한 시진방위각법이 있으나, 본 논문에서는 간략히 항해삼각형을 이용한 방위의 추출 알고리즘을 제시한다[6].

그림 3의 항해삼각형에서, 지위와 관측자의 위치를 연결한 대권과 자오선이 이루는 각 Zn을 방위라 한다.

먼저, Pn에서 GP와 관측자(Ship)가 이루는 각 LHA를 구하기 위해, 관측자의 경도를 Hour Angle로 변환하여야 한다. 경도는 East 일 때 양의 부호(+)이고, West 일 때 음의 부호(-)인 반면, GHA는 West 방향으로 360° 회전하고 있다. 따라서 경도가 양의 부호일 때, 즉 East 일 때 HA(Hour Angle) 는 식 (1)과 같다.

$$HA = 360 - longitude \tag{1}$$

반대로 경도가 음의 부호, 즉 west 일 때 HA 는 식 (2)와 같다.

$$HA = -longitude \tag{2}$$

따라서 LHA는 지위와 관측자의 경도가 이루는 지방시각이므로 식 (3)으로 표시할 수 있다.

$$LHA = HA - GHA \tag{3}$$

식 (3)의 값이 양수이면, HA 가 GHA 보다 더 왼쪽에 존재하므로, 이는 그림 3과 같이 관측자를 기준으로 천체가 떠오르고 있다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 여러 천체 중 태양을 대상으로 하였으므로, 그림 3과 같이 오전, 즉 태양이 떠오르는 상황임을 알 수 있다.

한편 그림 4는 해가 지고 있는 오후를 나타내는 것으로서 태양은 이미 관측자의 자오선을 앞질러 있음을 표현하고 있다.

항해삼각형의 cosine 법칙을 이용하여 Zn을 구하기 위해, 필수적으로 지위와 관측자의 거리(dist)를 알아야 한다. 이 거리 또한 3차원적인 지구 내부의 중심에서 바라볼 땐, 지구 표면상의 각도이다.

$$\cos(dist) = \sin(Lat)\sin(dec) + \cos(Lat)\cos(dec)\cos(LHA) \tag{4}$$

식 (4)에서 LHA 는 cosine 의 인수로 사용되고 있음을 알 수 있다. 따라서 식(3)이 부호에 상관없다는 것을 표현하는 것인데, 즉, dist는 선박의 위치와 지위가 어느 것이 앞서든 상관없이 두 지점의 거리만을 나타내는 값이 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 방위 Zn은 식 (5)와 같이 표현됨을 알 수 있다.

$$\cos(Zn) = \frac{\sin(dec) - \sin(Lat)\cos(dist)}{\cos(Lat)\sin(dist)} \tag{5}$$

한편 식 (5)에서 보듯이 Zn 역시 cosine의 인수임을 알 수 있다. 따라서 Zn은 180도 이상의 값을 가지지 않는다. 결국 해 뜨는 경우의 Zn과 해지는 경우의 Zn이 동일 값으로 표현될 수 있다는 것을 의미한다. 만일 그림 3의 Zn 이 100°이고, 그림 4의 Z 가 100°라고 같은 값이 구해진다고 하면, 그림 4의 Zn은 360° – Z = 260°의 값

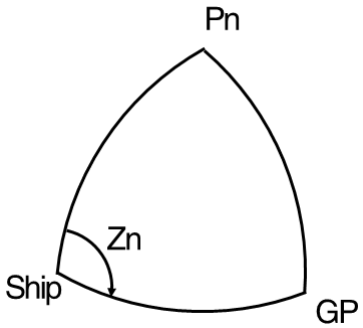

Fig. 3 Sunrise at the ship's position

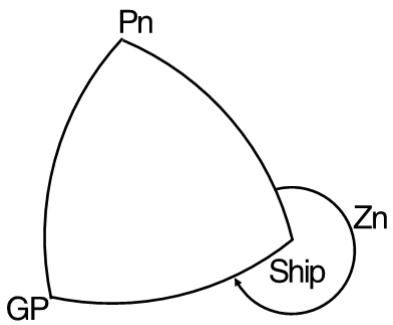

Fig. 4 Sunset at the ship's position

을 실제 방위 값으로 산출하여야 한다[7].

따라서 식 (5)는 LHA가 음수일 때에 한하여,

$$Zn = 360 - Zn \tag{6}$$

식 (6)을 한 번 더 적용하여야 한다.

3.3. 방위 보정 장치의 구현

본 논문의 실험을 위하여 그림 5와 같이 S/W를 구성하였다.

GUI의 구성은 천측을 하고자 하는 시간의 천측 데이터의 올바른 검출이 가능한지를 실시간 파악할 수 있도록 구성하였다.

관측 장소의 위도와 경도를 입력할 수 있도록 하였고, 시각은 UTC로 표현하였다. 천측데이타의 이상 유무 확인을 위해 임의의 시간 대비 천측력 값을 비교하고, 시간 설정에 따른 방위의 산출이 가능하도록 하였다. 따라서 해당 시간에 언제라도 GHA와 Dec.의 값을 실시간으로 나타내도록 하였다[8].

입력된 천측 관련 데이터는 국립해양조사원에서 발행되고 있는 천측력과 동일함을 확인하였다. 단, 실제 실험을 위해서는 UTC의 현재시간을 이용하여 방위환에서 측정한 해당 시간의 데이터를 이용할 수 있도록 하였다.

지위(GHA, Dec.)와 현위치(위도, 경도) 사이의 지구상의 거리는 dist라는 변수를 이용하여 각거리로 표현함으로써, 태양의 이동에 따른 해당 위치에서의 방위 변화를 실시간 관측 가능하도록 구성하였다.

소프트웨어는 C# .NET Framework 2.0 환경에서 개발함으로써 호환성을 최대한 고려하였다. 구현한 소프트웨어는 임베디드 하드웨어와의 인터페이스를 위하여 USB to RS422 컨버터를 통해 통신하도록 하였다. 임베디드 하드웨어는 RS422 통신을 통해 NMEA 신호를 출력하도록 함으로써 PC용 소프트웨어가 아닌 다른 임베디드 장비와의 통신하게 될 경우를 고려하였다. 또한 소프트웨어 내부적으로 오류 검출을 위한 Checksum 검증 알고리즘을 구현하여 통신 간 노이즈 등으로 인한 문제가 발생하였을 때에도 오류가 발생하지 않도록 하였다.

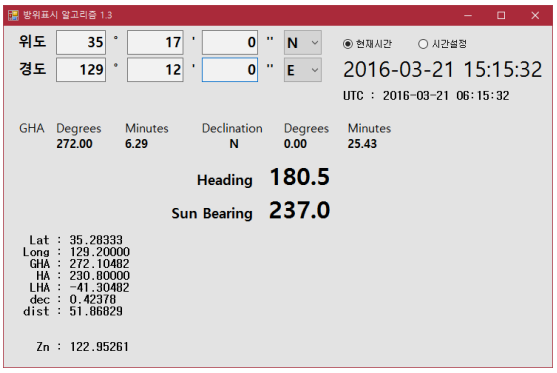

Fig. 5 Calculating Software

소프트웨어는 앞서 기술한 진북 추출 알고리즘을 반영하여 제작하였으며, 내부적으로 8 byte의 double 자료형을 사용함으로써 좀 더 정밀한 연산이 가능할 수 있도록 고려하였다. 출력되는 모든 값들은 Degree 형으로 변환함으로써 사용자의 가독성을 향상시켰다.

소프트웨어는 현재 시간 및 위도, 경도를 입력받아 알고리즘을 통해 태양의 방위를 연산하여 S/W에서 Sun Bearing 값으로 출력한다. 이후 임베디드 시스템에 포함된 방위환 상에서 선수 대비 태양의 방위각을 12 비트의 엔코더를 통해 전달받아 이를 Sun Bearing 값과 비교 연산하여 최종 선수의 Heading 방위를 출력한다. 즉, 그림 2에서 선수와 방위환에서 가리키는 태양의 방위와의 각 a를 엔코더로 측정하여 상기 S/W에서 검출한 Sun Bearing에서 이 a 값을 연산해 주면 원하는 선수의 진북 대비 방위를 구할 수 있게 된다.

시스템은 먼저 임베디드 하드웨어의 기준선을 선수에 두고, 태양의 위치를 측정하여 선수 대비 태양의 위치각을 구한다. 측정된 각도값은 엔코더에 의해 실시간으로 연산되어 선수와 태양과의 사이각을 계산 소프트웨어로 전달하게 된다.

계산 소프트웨어에서는, 현재의 위도와 경도를 입력받아 태양의 본초시각과 적위를 계산한다. 이후 임베디드 하드웨어에서 전달되어 온 선수와 태양의 사이각을 입력받아 실제 선수의 방위를 계산하게 된다. 이후 GUI에서 해당 계산값들을 출력하여 줌으로써 소프트웨어의 동작은 종료된다.

임베디드 하드웨어는 Cortex-M4 코어 기반의 STM32F407 마이크로프로세서를 사용하였다. 이 제품은 최대 1Mbyte의 Flash Memory를 제공하는 제품으로써, 168MHz의 클락 속도로 구동된다. Cortex-M4는 FPU(Floating Point Unit)을 제공함으로써 소숫점 단위의 연산을 효과적으로 연산할 수 있다.

Ⅳ. 시험 및 평가

4.1. 시험 환경

3장에서 언급된 천문항해 이론 및 방위산출 알고리즘을 바탕으로, 본 논문의 연구 내용을 실험하기 위해 천측을 위한 환경을 구축하였다.

본 연구에서 제작된 임베디드 시스템은 MD69BR Bearing Repeater 위에 장착하여 실험을 진행하였다.

임베디드 시스템에 포함된 방위환을 이용하여 관측자는 태양의 중심을 정확히 맞추고 측정 버튼을 누른다. 측정된 방위는 임베디드 시스템 내부에 장착된 엔코더가 선수 대비 값을 가리키는데 그림 2의 a 값을 표현한다. 알고리즘에 따른 현 위치에서의 진북 값은 a+b 값을 연산하여 구할 수 있다. 본 실험에서는 임의의 지점을 가리키고 있는 선수의 Heading 값을 구하기 위해 방위환을 통해 검출한 태양의 방위값 (Sun Bearing)에 a값을 연산하여 선수의 Heading 값을 구하도록 진행하였다.

본 실험을 위해 대략 3km 이상 다소 먼 거리의 임의 물표를 준비하여 그곳의 방위를 상대적으로 측정하는 시험을 진행할 수 있는 여건을 고려하였다. 원거리 물표의 정확한 방위를 측정하기 위해, 토목 분야에서 사용하는 데오도라이트처럼 원거리 측정용 망원경을 측정 장치에 정밀하게 부착하여야 한다. 이 과정에서 관측 장치와 망원경의 비틀어짐이 오차를 발생할 수 있는 요인이 된다는 것을 알 수 있었고, 또한 망원경 렌즈에 정밀한 측정용 선을 그려넣어 원하는 물체를 정밀하게 지목할 수 있어야 했는데 이 역시 렌즈에 그어진 선이 관측장비의 중심축 대비 오차를 발생시킬 수 있는 요인도 감안하였다.

따라서 본 실험에서는 동일한 위치에서 임의 지점의 Heading 은 태양의 변화에 관계없이, 그리고 시간에 관계없이 태양 천측을 통해 일률적으로 방위를 측정할 수 있음을 확인하였다. 따라서 시간의 변화에 따라 지속적으로 천측을 시행하여 진북 대비 선수의 Heading 값이 얼마나 일률적으로 그 값을 유지하는지를 파악하였다. 이상적인 경우라면, 태양의 어떠한 변화에 대해서도 선수의 값은 일정하게 변함없어야 하지만, 측정에 따른 기기 오차 및 관측자의 측정 오차의 삽입으로 인해 다소 선수의 진북 대비 방위의 오차는 발생하는 것을 확인하였다.

4.2. 시험 및 평가

본 논문에서는, 진북을 찾기 위한 해상 승무원의 기존 업무 대비, 개선 부분을 아래의 세 가지로 구분하여 비교하였다.

첫째, 시간의 단축. 항해사가 기존의 방법을 사용하여 천측을 통해 방위를 추출할 경우 시간적으로 얼마나 빠르게 적용 가능한가. 이 부분은 갈수록 고속화 되는 선박의 추세에 따라 원하는 진북의 추출 과정이 시간적으로 이점이 있음을 실험을 통해 확인하였다.

둘째, 결과의 정확성. 진북의 추출 과정에 따른 결과의 정확성을 파악하여 이를 비교 하였다.

셋째, 업무의 편리성. 진북의 추출 과정에 따른 과거의 어려운 절차를 줄일 수 있는 부분을 비교 하였다.

상기 세 가지 측면에 대해, 시간의 단축과 업무의 편리성은 천측의 절차가 감소함에 따라 시간이 줄어들게 되므로, 운용상의 편의성 개선 부분으로 비교 표현하였다. 또한 측정의 정확성은 시간별로 측정한 결과를 표시하여, 객관적으로 나타낼 수 있도록 표현하였다. 편의성 개선은 가능한한 반복적인 시행을 거쳤고, 측정의 정확성은 시간의 변화에 따른 반복 시행은 물론, 객관화 가능한 비교 대상을 선정함으로써 확보하였다.

4.2.1. 운용상의 편의성 평가

표 1에서 알 수 있듯이, 과거의 측정 방법은 선박의 운항 중, 빨라도 5분 이상, 많게는 20분 이상의 시간 소요가 필요했다. 또한 계산 과정이 많기 때문에 각 과정 수행에 따른 오차의 개입과, 특히 해상 환경의 잦은 변화로 인해 자선의 위치를 실시간으로 측정하기에는 많은 애로점이 존재해 왔다. 그러나 제안된 방법의 실험을 통해서는 약 5초 안에 정확한 진북의 판단은 물론 선수의 Heading을 검출할 수 있음을 알 수 있었다. 임베디드 시스템의 연산 처리 시간이 1초 이내임을 감안한다면, 사람이 천측을 하는 시간을 제외하면 시간의 소요는 없다는 것을 알 수 있다.

표 1은 본 논문을 작성하기 위해 저자의 직접적인 경험을 토대로 진행한 것이며, 필요할 경우 많은 항해사들의 설문 등을 통해 그 객관성을 공고히 할 수 있다. 그러나 본 논문은 시간적인 감소에 초점을 두는 것이 아니라, 진북 대비 방위의 측정 과정을 전산화함으로써 측정 시 소요되는 시간 지연을 상쇄할 수 있다는 데 그 의의를 두고자 한다. 즉, 과정이 줄어들면 당연히 시간

의 낭비 요소는 없어질 것이며, 이에 따른 오차의 누적도 상당 부분 감소될 것이다.

Table. 1 Astronomical Observation Process and Time

Observation Procedure	Existing Observation Process	Required Time	
		Existing Observation Method	Proposed Observation Method
Azimuth Measurement of Celestial Bodies	Azimuth Circle	3 sec	3 sec
Register Current Time	Chronometer Elec. Watch	3 sec	1 sec
GP Calculation of Celestial Bodies	Interpolate using the Nautical Almanac	300 sec	
Identify Own Ship Position	GPS or Recognized Location	2 sec	
Bearing of the Celestial Bodies	Sight Reduction Table	150 sec	
Heading Detection	Bearing Indicator Reading	5 sec	
Operation Time		463 sec	4 sec

4.2.2. 방위 측정의 정확성 평가

표 2는 본 연구를 통해 구현한 임베디드 시스템을 이용하여 두 번의 시험을 거친 천측 결과를 정리한 것이다. 1차 시험은 부산광역시 영도구 태종로 727 (35.074913N, 129.086150E)에서 Heading 정확도를 검증하였다. 2시간 동안 20분 간격으로 총 7회 측정을 진행하였고, 2차 시험은 부산광역시 영도구 남항서로 52 (35.085579N, 129.034898E)에서 Heading의 정확도를 검증한 것으로 30분 간격으로 총 8회를 측정한 것이다.

그 결과 측정치는 평균 오차가 0.21°와 0.20°로 나타났으며, 이것은 일률적인 오차를 나타낸 것으로 사료된다. 총 15회의 측정치들 중, 0.4° 이상의 오차를 보인 것이 1회 포함되어 있으나, 이러한 오차의 평균이 어느 정도의 정확도를 가지는 것인지를 분석하기 위해 IMO의 THD (Transmitting Heading Device) 기준과 판매를 목적으로 제작된 기계식 Gyro 컴파스 등의 성능을 상대 비교 하였다.

Table. 2 Astronomical Observation Result

Primary Test			Secondary Test		
Time	Value	Error	Time	Value	Error
13:20	288.1	0.31	13:30	145.0	0.45
13:40	288.2	0.41	14:00	145.2	0.25
14:00	287.7	0.09	14:30	145.4	0.05
14:20	287.7	0.09	15:00	145.5	0.05
14:40	287.6	0.19	15:30	145.5	0.05
15:00	287.6	0.19	16:00	145.4	0.05
15:20	287.6	0.19	16:30	145.1	0.35
-	-	-	17:00	145.8	0.35
Avg.	287.79	0.21	Avg.	145.45	0.20

표 3은 각 장비의 오차 허용 한계를 나타내고 있는데, THD는 IMO Resolution MSC. 116(73)에서 선박이 이를 탑재하도록 규정으로 정의하고 있다. Gyro 컴파스를 의무적으로 탑재 하지 못하는 선박에 대한 대안으로서의 THD는 그 정확성을 1.0° 이하로 규정하고 있다[9].

Table. 3 Tolerance Comparison

	THD	TG-8000/ 8500	JLR-21	Proposed Equipment
Tolerance	1.0° or less	0.5° RMS	0.5° RMS	0.21°

TG-8000/8500은 Tokyo KEIKI에서 판매하고 있는 Gyro 컴파스이며, IMO의 규정을 준수하는 제품으로 허용오차를 RMS 0.5° 이하로 규정하고 있다[10].

JLR-21은 JRC에서 판매하고 있는 GPS 컴파스이며 허용오차를 RMS 0.5°로 규정하고 있다[11].

표 3에서 보는 바와 같이 본 실험에서 제시한 방위 오차는 국제적으로 통용되는 선박 운항을 위한 방위산출에 대하여 사용 가능함을 알 수 있다. 특히 본 연구를 통해 구현한 결과가 표 3에서 제시한 대부분의 장비들의 오차 범위 내에서 방위의 산출이 가능하므로, 이들 장비의 오차 보정용으로 혹은 방위의 산출을 위해 사용 가능함을 확인할 수 있었다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 과거의 천문항법에서 사용되던 방위 산출 방법을 현대의 IT 기술과 접목하여, 기존 선박용 컴파스의 오차를 보정하고, 항해를 위한 방위 산출을 편리하게 할 수 있는 시스템의 구현에 관해 연구하였다.

시스템은 S/W 및 H/W를 임베디드 형태로 구현하였으며, 두 가지 측면에서 고찰해 보면, 첫째, 항해를 위한 운용자의 편리성 증대를 위해 항해사의 천측 과정을 임베디드 시스템을 통해 대폭 간소화 하였다. 이렇게 간소화된 절차와 전산화된 임베디드 시스템을 통해 방위 산출 시간을 획기적으로 줄일 수 있었다.

둘째, 방위 산출이 얼마나 정확한지를 실험을 통해 확인하였는데, 대략 평균 0.2°의 오차를 나타내는 실험 결과를 알 수 있었다. 이 결과는 IMO 등 국제적으로 통용되는 방위 구현 장치의 오차 범위를 대부분 만족하는 것으로, 항해를 위한 방위의 정확성을 충분히 보장할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

또한 과거에 관측자가 진북을 찾는 과정에서 정밀하지 못한 각종 장비 및 천측력 표를 활용하여 오차가 상당히 많이 내포 될 수밖에 없었던 부분을 본 연구를 통해 개선한 것은 나름 의미 있는 실험이었다고 사료된다. 특히 항해사의 자질이 항상 일률적일 수 없고, 각종 계산 및 수학적 감각이 요구되는 상황까지 고려한다면, 본 논문에서 단지 과거의 방법 대비 현 연구가 정량적인 몇 가지 기능적 대비의 우열을 논하는 것 외의 정성적 측면에서도 큰 기여를 하였다고 사료된다.

한편, 해상에서 천체 관측을 통해 정확한 방위를 산출할 수 있는 본 논문의 구현 결과를 바탕으로, 각종 센서들과의 결합을 통해 컴파스의 완전체 구현이 가능할 것으로 사료된다.

REFERENCES

[1] S. J. Lee, T. G. Jeong, and E. B. Lee, *Navigation Equipments*, Busan, Dasom Publishing Co., 2002.

[2] T. J. Cutler, *Dutton's Natical Navigation*, 15th ed. Annapolis, MD:U. S. Naval Institute Press, 2004.

[3] Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, *2016 Natical Almanac*, Seoul, Ministry of Oceans and Fisheries.

[4] Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, *Sight Reduction tables for Marine Navigation*, vol. 3, Seoul, Ministry of Oceans and Fisheries.

[5] S. G. Park, *Celestial Navigation*, Seoul, Yeonkyeong Publishing Co., 2007.

[6] Y. J. Yoon, *Celestial Navigation*, 3th ed. Busan, Korea Maritime University Press, 1999.

[7] John Karl, *Celestial Navigation in the GPS Age*, Blue Lake, CA:PARADISE CAY Publications, 2011.

[8] Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, Richmond, VA: Willmann-Bell, Inc., 1991.

[9] IMO Resolution MSC 116(73), *Performance Standards for Marine Transmitting Heading Devices (THDs)*, International Maritime Organization, London, 2000.

[10] Tokyo Keiki, Gyrocompass TG-8000/8500 [Internet]. Available: http://www.tokyo-keiki.co.jp/marine/e/products/gyro.html.

[11] Japan Radio Co., Ltd., 3D Dynamic Sensor GPS COMPASS/GPS NAVIGATOR: JLR-31/JLR-21 [Internet]. Available: https://www.jrc.co.jp/eng/product/lineup/jlr21_31/

임진국(Jin-Kook Lim)

1988년 해군사관학교 이학사(경영과학) 졸업
2006년~2007년 해군 초계함 함장
2013년~2016년 해군본부 정보화기획실 전투체계과장
2017년~ 현재 해군 2함대 2훈련전대장
※관심분야 : 컴퓨터 네트워킹, 센서 네트워크, 임베디드 소프트웨어

임재홍(Jae-Hong Yim)

1997년~2000년 부산울산지방중소기업청 기술자문위원
1997년~2000년 부산광역시 사이버해양박물관 구축자문위원
2005~2007년 한국해양대학교 정보전산원 원장
2007년~현재 캐나다 Simon Fraser University 방문교수
1995년~현재 한국해양대학교 공과대학 전자통신공학과 교수
※관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 모바일 컴퓨팅, 유비쿼터스 센서 네트워크