
해저케이블 작업에서의 KP와 XTE 구현을 위한 최적화 알고리즘

이태오* · 임재홍**

Optimization Algorithm for KP and XTE Implementation on the Submarine Cable
Work

Tae-Oh Lee* · Jae-Hong Yim**

요 약

해저 광케이블 공사는 해양조사, PLGR(Pre Lay Grapnel Run), 천해부공사, 포설/매설 순서로 이루어진다. PLGR은 해저 광케이블 매설전에 루트상의 해양 오염물(로프, 와이어, 그물, 어망 등)을 사전에 제거하는 작업이다. 이러한 PLGR은 케이블의 해저면 안착을 용이하게 하고, Plough 및 ROV(Remotely-Operated Vehicle) 매설작업의 성능을 향상시키며, 매설장비를 보호하기 위한 작업이다.

본 논문은 해양조사, PLGR 작업을 효율적으로 관리하기 위한 항해 누적 거리(KP : Kilometer Post)와 경로 이탈 오차(XTE : Cross Track Error)의 최적화 알고리즘 구현에 대해서 논한다. 본 논문에서는 이를 위하여 전체적인 PLGR 작업을 구성하고, 항해 누적 거리와 경로 이탈 오차의 최적화 알고리즘을 제안하였다. 그리고 현재 진행중인 PLGR 작업의 일부 루트를 따라서 KP와 XTE 결정 알고리즘을 실험하였다.

ABSTRACT

Submarine optical fiber cable construction consists of marine survey, PLGR(Pre Lay Grapnel Run), shore-end-work, laying order. PLGR is the work process which removes the oceanic contaminations(ropes, wires, nets etc.) in the route before laying the submarine optical cable. This PLGR is work to ease the cable lay safely in seabed, improve the performance of Plough and ROV((Remotely-Operated Vehicle) laying work, and protect laying equipment.

This paper presents the optimization algorithm implementation of KP(Kilometer Post) and XTE(Cross Track Error) to manage marine survey and PLGR work efficiently. In this paper, we composes overall PLGR work, and proposed optimization algorithm of KP and XTE. For the validity evaluation of this paper, KP and XTE decision algorithm are implemented and tested.

키워드

Marine Survey, PLGR(Pre Lay Grapnel Run), KP(Kilometer Post), XTE(Cross Track Error), GPS, NMEA

1. 서 론

항법(navigation)이란 어떤 지점에서 다른 지점으로 이동하는 물체의 위치, 속도, 시간, 자세

등을 결정하는 과정으로써 오랜 역사를 가지고 있다. 항법 기술은 지문항법(piloting), 추측항법(dead reckoning), 천문항법(celestial navigation)에서 시작하여 관성항법시스템(INS : Inertial

*동명정보대학교 정보공학부 컴퓨터공학과

**한국해양대학교 전파·정보통신공학과

Navigation System) 등으로 발전하였다. 제 2차 세계대전 이전부터 선박이나 항공기의 위치를 제공하기 위하여 여러 방법이 시도되었는데 전자파가 송신되어 수신기까지 도달할 때의 시간을 관측하여 위치 측정을 하는 무선향법시스템(radio navigation system)이 개발되었다.

그러나 지상 무선향법시스템들은 서비스 영역의 한계나 악천후 시 성능저하의 문제점이 지적되었다. 이러한 문제점에 대한 해결책으로 위성을 이용한 시스템이 등장하였다. 1957년 구 소련에서는 스푸트니크호(sputnik)의 발사와 1969년 미국에서 아폴로(apollo) 11호가 달 착륙에 성공하였다. 이러한 과정 속에서 미국의 위성항법시스템(GPS : Global Positioning System)과 구 소련의 글로나스(GLONASS : Global Navigation Satellite System) 위성을 이용한 우주 측량 시스템이 탄생하게 된 것이다. 1973년 미국방성은 티메이션(timation)과 시스템621B(System 621B)를 통합하여 DNSS(Defense Navigation Satellite System)로 운용하였다. 이것이 바로 NAVSTAR GPS(NAVigation System with Time and Ranging GPS)의 모체가 되었다.

1995년 완전 가동한 GPS는 미 국방부에 의해서 계획 제작된 위성을 이용하여 정밀비행과 항해, 정확한 3차원 위치결정이 가능할 뿐만 아니라 높은 정확도가 유지되는 국가 기준점 설치, 지적경계 측량, 지각변동의 측량으로부터 도로의 건설, 유지관리 및 교통안전, 선박의 항해까지 성공적으로 이용되고 있다. 오늘날은 해상 및 하천에서 GPS 위성측량의 활용도는 높다고 할 수 있다. 또한 해저 지형도 제작, 해저 보링(천공, boring) 위치의 3차원 좌표결정, 국제 해저 광케이블 공사, 해상 대형 구조물 축조를 위한 케이슨(caisson) 유도 및 설치 등에 활용된다[1, 2, 3, 4].

따라서 본 논문에서는 단일 위성항법시스템(stand-alone GPS)을 이용하여 하나의 GPS 수신기로부터 NMEA(National Marine Electronics Association)0183[5, 6, 7, 8]의 GPS 데이터를 이용하여 항해하는 선박의 동적 위치, 코스(course)를 결정하고, 해저 광케이블 공사의 한 부분인

PLGR(Pre Lay Grapnel Run) 작업에서 항해하는 선박의 항해 누적 거리(KP : Kilometer Post)와 경로 이탈 오차(XTE : Cross Track Error) 결정을 위한 최적화 기하 알고리즘(geometric algorithms)을 제안 및 실험하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 관련연구로서 지구상에서 거리 근사에 대해서, 제 3장에서는 기하 알고리즘을 이용한 해저 광케이블 작업에서 항해하는 선박의 KP와 XTE 구현에 대해서, 제 4장에서는 실험 및 고찰에 대해서, 마지막으로 제 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대해서 논한다.

II. 관련 연구

본 논문은 해저 광케이블 공사의 작업에서, GPS의 위치 정보 데이터를 이용하여 항해하는 선박의 KP, XTE 계산을 위한 최적화 기하 알고리즘 구현에 있다. 이를 위해서 GPS의 위치 정보 데이터를 표현하기 위한 지구중심의 좌표계 및 KP, XTE 계산을 위한 기본적인 구면 기하 알고리즘에 대해서 논한다.

2.1 지구중심 좌표계

지구좌표를 나타내는데 있어서 크게 구면좌표와 평면직각좌표로 나눌 수 있다. 구면좌표는 지표상의 위치를 경도와 위도, 높이(λ, ϕ, h)로 결정하는 것을 말하며 타원체를 중심으로 결정하게 된다. 그리고 평면직각좌표는 투영방법에 따라서 UTM(Universal Transverse Mercator), UPS(Universal Polar Stereographic), TM(Transverse Mercator) 등의 투영법으로 위치를 결정하는 방법을 의미한다. 경·위도 좌표는 영국의 그리니치 천문대를 지나는 본초자오선과 적도면이 만나는 점을 원점으로 하여 동경 180도, 서경 180도, 북위 90도, 남위 90도로 각 지점의 경·위도를 결정하게 된다.

만약 지상의 점 P 를 경·위도 좌표로 나타낸다면 그림 1과 같이 경도는 원점을 중심으로 지

상의 점을 지나는 자오선까지의 각(λ)으로 나타내고 위도는 측지위도, 천문위도, 화성위도가 있는데 측지 위도를 사용하고 있다. 측지 위도는 지표상의 점에서 타원체면에 수직으로 발을 내렸을 때 적도면과 이루는 각(ϕ)으로 정의하며, 높이는 타원체를 기준으로 한 타원체고(H)와 지오이드를 기준으로 한 지오이드고(h)로 나타낸다. 따라서 GPS가 채택하고 있는 타원체의 기준과 높이의 기준이 다르므로 동일한 점 P 에 대한 좌표값도 다르게 된다.

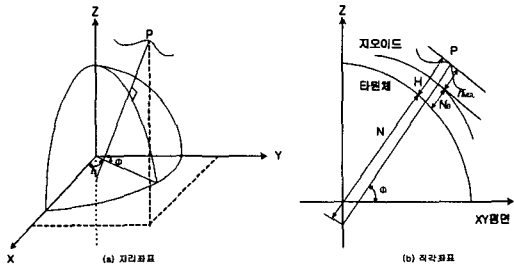


그림 1. 3차원의 지리좌표(λ, ϕ, H)와 지심 직각좌표(X, Y, Z)
Fig. 1 Geographic coordinates and cartesian coordinates of third dimension

그림 1과 같이 3차원 직각좌표 원점과 일치하는 지구타원체면에 대한 높이 H 인 지점에 있는 한 점 $P(\lambda, \phi, H)$ 의 3차원 직각좌표 X_p, Y_p, Z_p 는 식 (1) ~ (3)과 같은 변환식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} X_p &= (N+H) \cos\phi \cos \lambda, \\ Y_p &= (N+H) \cos\phi \sin \lambda, \\ Z_p &= \{N(1-e^2)+H\} \sin\phi \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, N 은 모유선 곡률 반경(radius of curvature in prime vertical)으로 타원체의 장반경(greatest distance)이 a , 단반경(shortest distance)이 b , 이심율(eccentricity)이 e^2 일 때, 식 (2)와 같다.

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi}} \quad \text{단, } e^2 = \frac{(a^2-b^2)}{a^2} \quad (2)$$

H 는 타원체 표면 기준높이(ellipsoidal height)로서 그림 1 (b)의 H 를 나타내며, 이것은 평균해수면(지오이드면)을 기준으로 하는 표고 h_{MSL} 와 베셀(bessel) 타원체면에서 지오이드까지의 높이(geoidal height)인 N_B 와의 합을 의미하며 식 (3)과 같다.

$$H = h_{MSL} + N_B \quad (3)$$

일반적으로 두 좌표계 사이의 좌표변환은 경도, 위도 좌표를 3차원 지심 직각 좌표로 변환 후, 각각의 변환모델을 이용하여 좌표변환을 실시하게 된다. 3차원 좌표변환은 도플러(doppler)에 의한 위치결정에 적합한 변환으로서 수평위치 결정뿐 아니라 표고를 구하는데 유리하다.

3차원 변환은 두 개의 직각 좌표계에 관련된 7개의 변수가 있다. 이러한 7개의 변수는 두 좌표계의 원점인(X_0, Y_0, Z_0)에 관계되는 이격량 변수인 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 와 각 좌표축의 회전변수인 ω, ϕ, λ , 두 좌표계 사이의 축척계수 S 가 있다.

일반적으로 널리 사용되고 있는 3차원 변환모델로는 Bursa-Wolf 변환모델, Molodensky-Badekas 변환모델, Helmert 변환모델 등이 있다. 이러한 변환모델을 사용하기 위해서는 경도(λ), 위도(ϕ), 표고(H)의 지리좌표를 3차원 지심 직각 좌표로 변환하여야 한다. 관측된 자료를 이용하여 측량망의 조정계산은 관측값과 미지값 사이의 비선형 관계를 테일러(taylor) 전개를 통하여 선형화하여 최소제곱법을 이용하여 조정을 하게 된다. 선형화된 관계식을 matrix-vector 기호로 나타내면 식 (4)와 같다.

$$l = A \times x \quad (4)$$

여기서, l 은 관측벡터, A 는 설계행렬, 그리고 x 는 미지벡터이다. n 개의 관측과 n 개의 미지변수가 가지는 설계행렬은 n 행과 u 열로 구성되며, 여기에 관측오차벡터(v)를 추가하게 되면 식 (5)

가 된다.

$$l + v = A \times x \quad (5)$$

망조정은 이러한 최소의 오차벡터를 가지는 미지값을 구하는 것을 말하며, 최소제곱법을 이용하여 수행하게 된다. 미지 좌표에 대한 벡터 x 는 식 (6)을 이용하여 구할 수 있다.

$$x = (A^T \times A)^{-1} \times A^T \times l \quad (6)$$

여기에 경중률 P 를 적용하게 되면 식 (7)과 같다.

$$x = (A^T \times P \times A)^{-1} \times A^T \times l \quad (7)$$

3차원 직각좌표의 변환은 베셀 타원체를 기준으로 한 우리나라의 지리좌표를 X_{Bessel} GPS 위성측량에 의한 좌표를 X_{WGS84} , 두 타원체 원점 사이의 이격량을 ΔX , X, Y, Z축에 대한 회전행렬을 $[R]$, 축척계수를 S 라 하면 변환식은 식 (8)과 같이 Helmert 변환모델을 이용하여 구할 수 있다. 그리고 회전행렬 $[R]$ 은 식 (9)와 같이 나타낼 수 있으며 X, Y, Z축에서의 회전각은 각각 ω , ϕ , λ 이다.

$$X_{Bessel} = S[R]X_{WGS84} + \Delta X \quad (8)$$

$$[R] = \begin{pmatrix} \cos\phi \cos\lambda & \cos\omega \sin\lambda + \sin\omega \sin\phi \cos\lambda & \sin\omega \sin\lambda - \cos\omega \sin\phi \cos\lambda \\ -\cos\phi \sin\lambda & \cos\omega \cos\lambda + \sin\omega \sin\phi \sin\lambda & \sin\omega \cos\lambda + \cos\omega \sin\phi \sin\lambda \\ \sin\phi & -\sin\omega \cos\phi & \cos\omega \cos\phi \end{pmatrix} \quad (9)$$

여기서 $X_{Bessel} = [X_{Bessel} \ Y_{Bessel} \ Z_{Bessel}]^T$,

$X_{WGS84} = [X_{WGS84} \ Y_{WGS84} \ Z_{WGS84}]^T$ 이다.

즉, GPS 위성측량으로 관측된 WGS(World Geodetic System)-84 경·위도 좌표와 기존의 지리삼각점의 경·위도 좌표를 각각 3차원 지심 직각 좌표로 변환하여 각 좌표계 사이의 7개의 변환 매개변수를 산출하게 된다. 이때, 좌표 변환 식은 비선형이기 때문에 테일러 급수 전개하

여 선형화 시킨 다음 최소제곱법을 이용하여 계산한다[9].

2.2 구면 기하 알고리즘

KP와 XTE를 구하기 위해서는 많은 두 점 사이의 거리 계산을 필요로 한다. 두 점 사이의 직선 거리를 구할 때에는 피타고라스의 정리에서 나온 잘 알려진 거리 공식을 적용한다. 그러나 곡면 위의 두 점 사이의 거리를 구하려 한다면 문제는 다소 어려워진다. 구면 위의 두 점 사이의 최소 거리, 즉 호의 길이 계산에 대해서 살펴본다.

구면 위의 호에 대해 논할 때 일반적으로 끝점을 구면 좌표계로 지정하는 것이 편리하다. 따라서 여기에 소개된 알고리즘은 구면 좌표계를 가정한다. 그러나 호의 길이를 계산하기 위해서는 직교 좌표계의 양끝점이 필요하다. 결과적으로 구면 좌표계의 점 $p_1 = (r, a_1, f_1)$ 과 $p_2 = (r, a_2, f_2)$ 를 직교 좌표계의 같은 점 $p_1 = (x_1, y_1, z_1)$ 과 $p_2 = (x_2, y_2, z_2)$ 로 바꾸는 것이 첫 단계가 된다. 이 과정은 식 (10)에서 구할 수 있고, 점들의 위치는 변하지 않고 단지 표현만 바뀔 뿐이다.

$$\begin{aligned} x &= \rho \sin\phi \cos\theta, & y &= \rho \sin\phi \sin\theta, \\ z &= \rho \cos\phi \end{aligned} \quad (10)$$

γ 와 직교 좌표 값 x, y, z 사이의 또 다른 관계는 다음 식 (11)과 같다.

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (11)$$

이 식은 3차원상의 한 점에서 원점까지의 거리를 계산한다. 여기까지 구면 위의 p_{11} 과 p_{22} 사이의 호의 길이를 계산하기 위해서는 먼저 구의 중심에서 각 점으로 뻗는 가상의 직선을 그리고(그림 2. (a)), 이 직선 사이의 각도 α 를 계산한다. 이를 위해 다음 식 (12)를 이용한다.

$$\alpha = \cos^{-1}\left\{\frac{(x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2)}{\rho^2}\right\} \quad (12)$$

여기에서 \cos^{-1} 의 매개변수를 보면, 매개변수의 분자 식은 구의 중심에서 p_1 과 p_2 까지의 가상의 선분을 벡터 U, V 로 간주하고 이 벡터들의 내적 $U \cdot V$ 를 계산하는 것에서 나온다. α 를 형성하는 선들은 구를 둘로 자르는 평면에 놓인다. 구와 평면이 만나서 생기는 원의 반경이 구의 반경과 같다는 점에서 α 는 중요하다(그림 2. (b)).

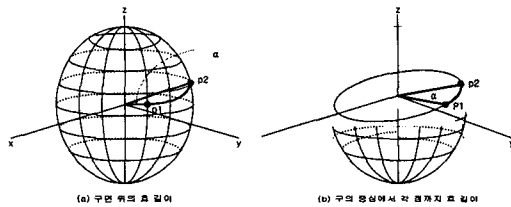


그림 2. 구면 호의 길이
Fig. 2 Distance of circle

점 p_1 과 p_2 사이의 호는 이 원 위에 놓이므로 이 호가 원의 주위를 얼마나 차지하는지를 결정하는데 α 가 도움이 된다. 원의 각은 2π 라디안(radians)이므로 이것은 비율 $\alpha/2\pi$ 로 결정된다. 이것과 원주 $2\pi\rho$ 를 이용하면 p_1 과 p_2 사이의 호의 길이는 식 (13)과 같고, 이것은 다음 식 (14)와 같이 간단히 표현된다[10, 11].

$$\frac{\alpha}{2\pi} 2\pi\rho \quad (13)$$

$$s = \alpha\rho \quad (14)$$

III. KP와 XTE 알고리즘 설계

3.1 해저 광케이블 작업

본 장에서는 해저 광케이블 작업에서 필요로 하는 항해하는 선박에 대한 선박의 항해 누적

거리(KP)와 경로 이탈 오차(XTE) 결정을 위한 최적의 기하 알고리즘을 설계한다. 항해 누적 거리는 항해 경로를 따라서 항해하는 선박이 기준 점으로부터 얼마나 진행했는지를 나타낸다. 경로 이탈 오차는 선정된 루트에서 항해하는 선박이 얼마나 벗어났는지를 나타낸다. KP와 XTE를 적용하기 위한 PLGR 작업 구성도를 그림 3에서 보이고 있다. 즉 KP와 XTE 구현을 위한 기하 알고리즘을 설계하기 앞서 정해진 항로(루트)를 따라 항해하는 선박의 이동에 대해서 살펴본다 [12, 13, 14].

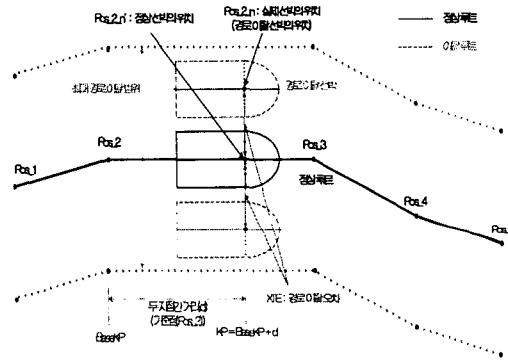


그림 3. 해저 광케이블 작업의 구성도(예)
Fig. 3 Configuration of submarine optical fiber cable work(example)

그림 3에서는 해저 광케이블 작업의 정해진 루트와 항해하는 선박과의 관계를 평면적으로 도시하고 있다. 실선은 해저 광케이블 작업을 행하여야 하는 정해진 항로(루트)를 나타낸다. 작업 선박은 이 정해진 루트를 따라 항해하면서 작업을 실시한다.

여기에서 코스는 작업 선박이 진행되는 방향을 나타내고, 항해 누적 거리(KP)는 작업 선박이 작업을 시작할 때의 기준점(작업 시작 루트 번호)으로부터 현재 선박이 위치한 곳까지의 항해 거리를 나타낸다. 또한 XTE는 항해하는 선박이 육상의 자동차와는 달리 파도, 바람, 조류 등의 영향으로 정해진 루트에서 이탈한 거리를 나타낸다. 따라서 작업 선박의 코스, KP와 XTE를 정확히 계산해야만 정확한 작업이 이루어질 수

가 있다.

실선의 루트에서 Pos_1, Pos_2, Pos_3, Pos_4, Pos_5는 정해진 작업 루트 번호를 지시하며, 작업 선박이 작업을 시작할 때의 기준점이 된다. 점선은 선박이 환경요인에 의해서 경로 이탈 오차(XTE)를 가지므로 작업을 하는데 있어 최대 로 벗어날 수 있는 구간을 표시하고 약 10m 내의 값을 갖는다. 즉 정해진 루트에서 좌우로 10m 이상을 벗어나면 정해진 루트에서 벗어난 것으로 간주하고 작업을 중단하고 다시 실시하여야 한다.

그림 4는 해저 광케이블 작업 시 KP, XTE, 코스 등을 구하기 위해서 그림 3을 단순화하여 나타내었다.

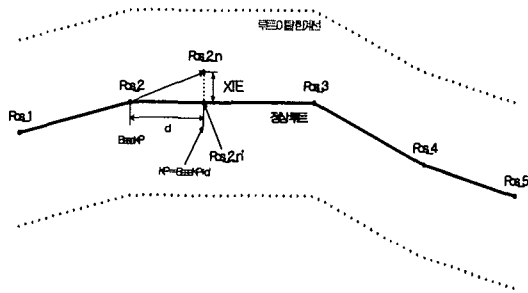


그림 4. 지점들의 단순화
Fig. 4 Simplification of points

그림 3, 4에서 작업을 Pos_2에서 시작할 때, 이를 해석하기 위해서 몇 가지 사항을 정의한다. 작업 시작 기준점을 Pos_n으로 정의하며, Pos_2에서 작업을 시작함으로써 시작 기준점(Pos_n)은 Pos_2가 된다. 그리고 다음 기준점은 Pos_n+1로 정의하며, Pos_n+1은 Pos_3이 된다. 해저 광케이블 작업을 위해서 항해하는 실제 선박의 위치를 Pos_n_n으로 정의한다. 즉 시작 기준점(Pos_n = Pos_2)에서 작업을 시작하여 첫 번째 GPS 위치 정보가 가리키는 실제 선박의 위치는 Pos_2_1, 그 다음은 Pos_2_2, Pos_2_3으로 증가를 한다. 따라서 임의의 실제 선박의 위치는 Pos_n_n이 된다. 그리고 임의의 실제 선박의 위치인 Pos_n_n 지점에서 경로 이탈 오차만큼 떨어진 Pos_n에서 Pos_n+1 사이의 코스에 있는 지점을

Pos_n_n'로 정의하며, 표 1과 같이 요약할 수 있다.

표 1. 그림 3, 4에 대한 패러미터 정의
Table 1. Definition of parameter for Fig. 3, 4

내 용	정 의	설 명
작업 시작 기준점	Pos_n	작업을 시작하는 루트 번호
작업 다음 기준점	Pos_n+1	작업을 실시하는 다음 루트 번호
실제 선박의 위치	Pos_n_n	작업을 시작한 루트에서 항해하고 있는 선박의 임의의 지점
정상 루트 상의 선박 위치	Pos_n_n'	Pos_n_n 지점에서 XTE 만큼 떨어진 루트상의 지점

3.2 KP와 XTE 알고리즘

그림 5는 그림 4에 대한 항해 누적 거리(KP)와 경로 이탈 오차(XTE) 계산 알고리즘을 나타내고 있다. 구면 위의 호 길이 응용은 지구상의 점들 사이 거리를 근사한 것으로 대원(great-circle) 거리라고 하였다. 지구상의 위도와 경도가 알려진 두 점 사이의 거리를 근사하기 위해 먼저 각 점을 구면 좌표 값으로 바꾸고 모든 각도를 도에서 라디안으로 바꾸어야 한다. 그리고 라디안과 거리 단위로 쓰인 마일(mile)과의 상호 관계는 다음 식 (15), (16)과 같다.

$$\angle_{rad} = \frac{\pi}{180} \angle_{deg} \cdot \angle_{deg} = \frac{180}{\pi} \angle_{rad} \quad (15)$$

$$distance_{rad} = \frac{\pi}{10800} distance_{nm} \cdot$$

$$distance_{nm} = \frac{10800}{\pi} distance_{rad} \quad (16)$$

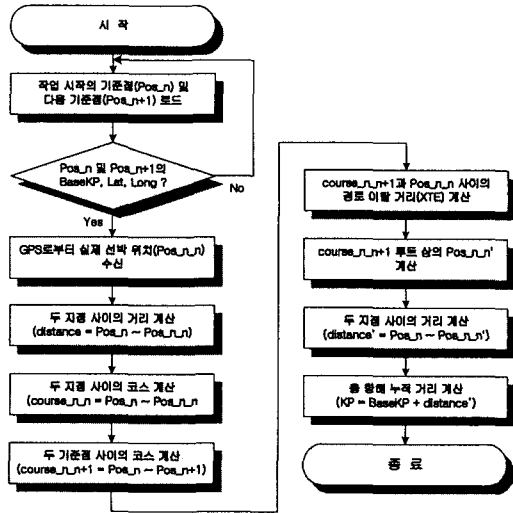


그림 5. KP, XTE 계산 알고리즘
Fig. 5 KP and XTE calculation algorithm

두 지점의 좌표 $p_1(lat_1, lon_1)$, $p_2(lat_2, lon_2)$ 사이의 대원 거리(d)는 식 (17), (18)과 같이 표현할 수 있다. 식 (17)은 원거리의 두 지점 사이, 식 (18)은 근거리의 두 지점 사이 거리를 구하기 위해서 각각 사용한다. 여기에서 lat_1 , lat_2 는 위도(latitude), lon_1 , lon_2 는 경도(longitude), d 는 두 지점 사이의 거리(distance)를 의미한다.

$$d = \arccos\{\sin(lat_1)\sin(lat_2) + \cos(lat_1)\cos(lat_2)\cos(lon_1 - lon_2)\} \quad (17)$$

$$d = 2\arcsin\left(\left(\sin^2\left(\frac{lat_1 - lat_2}{2}\right) + \cos(lat_1)\cos(lat_2)\sin^2\left(\frac{lon_1 - lon_2}{2}\right)\right)^{1/2}\right) \quad (18)$$

$p_1(lat_1, lon_1)$ 지점에서 $p_2(lat_2, lon_2)$ 지점으로 향하는 코스(course)는 다음 식 (19), (20)과 같다. 식 (19)는 $\sin(lon_2 - lon_1) < 0$ 일 때, 식 (20)은 $\sin(lon_2 - lon_1) \geq 0$ 일 때 적용한다.

$$course = \arccos \frac{\sin(lat_2) - \sin(lat_1)\cos(d)}{\sin(d)\cos(lat_1)} \quad (19)$$

$$course = 2\pi - \arccos \frac{\sin(lat_2) - \sin(lat_1)\cos(d)}{\sin(d)\cos(lat_1)} \quad (20)$$

또한 $p_1(lat_1, lon_1)$ 지점에서 방향이 $course$ 이고, 거리는 d 만큼 떨어져 있는 지점 $p_2(lat_2, lon_2)$ 의 좌표는 다음 식 (21), (22)과 같이 구할 수 있다.

$$lat_2 = \arcsin\{\sin(lat_1)\cos(d) + \cos(lat_1)\sin(d)\cos(course)\} \quad (21)$$

$$lon_2 = \text{mod}\left[lon_1 - \arcsin\left(\frac{\sin(course)\sin(d)}{\cos(lat_1)}\right) + \pi, 2\pi\right] - \pi \quad (22)$$

단, $\text{mod}(x, y)$ 는 다음과 같이 정의한다. $y \geq 0$ 일 때, $\text{mod}(x, y) = x - y \times \text{int}(x/y)$ 이고, $y < 0$ 일 때, $\text{mod}(x, y) = x + y \times (\text{int}(-x/y) + 1)$ 이다.

또한 Pos_n 은 A , Pos_{n+1} 은 B 라고 정의하고, 임의의 한 지점 C 를 $p_3(lat_3, lon_3)$ 이라고 할 때, 경로 이탈 거리는 다음 식 (23)과 같이 정의할 수 있다. XTE의 양수는 코스의 오른쪽, 음수는 코스의 왼쪽을 의미한다. 단, 식 (19) 또는 (20)에서와 같이 A 지점에서 B 지점으로의 코스는 $course = crs_{AB}$, A 지점에서 C 지점으로의 코스는 $course = crs_{AC}$ 라고 정의하고, 식 (17) 또는 (18)에서와 같이 A 지점에서 C 지점으로의 거리는 $d = distance = dist_{AC}$ 라고 추가 정의한다.

$$XTE = \arcsin\{\sin(dist_{AC}) \times \sin(crs_{AC} - crs_{AB})\} \quad (23)$$

그리고 KP와 XTE 계산을 위해서는 좌표계를 선택하여야 한다. 현재 우리나라에서 채택하고 있는 지구타원체는 베셀이 정의한 베셀 타원체를 준거타원체로 사용하고 있다. GPS 위성측량에서 사용하고 있는 지구타원체는 WGS-84 타원체로서 이것은 세계를 균일한 정도로 위치를

결정함으로써 군사목적으로 이용할 수 있도록 정의한 타원체이고 베셀과 WGS-84 타원체의 값은 표 2와 같다[9].

타원은 또한 타원의 장반경 축과 이심율(e^2 : eccentricity)에 의하여 정의된다. 이심율은 식 (25)와 같다.

표 2. 타원체 비교
Table 2. Ellipsoid comparison

타원체명	사용 국가	장반경(km)	단반경(km)	1/편평도
Bessel 1841	한국, 일본, 독일	6377.397	6356.076	299.1528128
WGS-84	GPS	6378.137	6356.752	297.257223563

타원은 여러 방법으로 정의된다. 그러나 측지학적 설명에서는 보통 장반경(a)과 편평률(f)로 정의된다. 따라서 WGS-84의 편평률(f)은 장반경(a)과 단반경(b) 모두에 달려있다. 식 (24)는 편평률(f) 계산식이다.

$$f = \frac{(a-b)}{a} \quad (24)$$

$$e^2 = (1 - \frac{b^2}{a^2}) = \frac{(a^2 - b^2)}{a^2} = (2f - f^2) \quad (25)$$

해저 광케이블 작업 시 KP, XTE 구현을 위해서 표 3, 4와 같이 패러미터(parameter)를 정의한다. 여기에서 음영처리 부분의 패러미터는 GPS 수신기로부터 직접 받아들이는 실제 데이터를 나타내고, 음영처리가 되지 않은 패러미터는 실제 데이터를 이용하여 계산될 값을 의미한다. 그리고 패러미터는 영문자와 루트 또는 지점을 나타내는 숫자의 조합으로 나타낸다.

표 3에서 GPS 수신기로부터 수신한 실제 데이터에 대한 영문자(A - G) 패러미터 정의는 다음과 같다. A는 루트 지점의 번호, B는 위도의도, C는 위도의 분/초, D는 남·북위, E는 경도의도, F는 경도의 분/초, G는 동·서경을 의미한다.

표 3. 패러미터 정의
Table 3. Definition of parameter

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Pos_n	Latitude (도)	Latitude (분, 초)	N, S	Longitude (도)	Longitude (분, 초)	E, W	Decimal Latitude (degrees)	Radians Latitude	Sin Latitude	Meridional Parts
n	B _n	C _n	D _n	E _n	F _n	G _n	H _n	I _n	J _n	K _n
n+1	B _{n+1}	C _{n+1}	D _{n+1}	E _{n+1}	F _{n+1}	G _{n+1}	H _{n+1}	I _{n+1}	J _{n+1}	K _{n+1}

표 4. 패러미터 정의(계속)
Table 4. Definition of parameter(con.)

L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
Distance for Equator	Decimal Longitude (minutes)	Difference in Latitude (degrees)	Difference in MPs	Difference in E, Dist	Difference in Longitude (minutes)	Course (Radians)	Distance in nmiles (6087ft)	Bearing T	Between position KP	Total KP
L _n	M _n									V _n
		N _{nn+1}	O _{nn+1}	P _{nn+1}	Q _{nn+1}	R _{nn+1}	S _{nn+1}	T _{nn+1}	U _{nn+1}	
L _{n+1}	M _{n+1}									V _{n+1}

표 4에서 GPS 수신기로부터 수신한 실제 데이터틀 이용하여 계산될 KP와 XTE를 구하기 위한 영문자 (H - V) 패러미터 정의와 계산식은 아래와 같다. 표 3, 4의 패러미터를 이용하여 시작 지점의 번호 n과 다음 지점의 번호 n+1 사이의 KP와 XTE를 구하기 위해서는 다음과 같은 정의가 필요하다. 즉 지점 n은 작업의 시작 기준점(Pos_n)으로 하고, 지점 n+1은 다음 작업의 시작 기준점(예, Pos_n+1)으로 정의한다. 따라서 임의의 지점에서 작업을 시작한다면, 각 지점을 나타내기 위해서는 n = 1, 2, . . . n, n+1을 대입하면 된다.

H는 각 지점의 decimal latitude(degrees)를 나타내고, H_n은 식 (26), (27)과 같다. 식 (26)은 C_n < 0 또는 D_n < 0일 때, 식 (27)은 그 외 조건이고, ABS는 절댓값(absolute)이다.

$$H_n = C_n - ABS(D_n)/60 \quad (26)$$

$$H_n = C_n + ABS(D_n)/60 \quad (27)$$

I는 각 지점의 radians latitude, J는 각 지점의 sin latitude를 나타내고, I_n, J_n은 식 (28), (29)과 같다.

$$I_n = H_n \times \frac{\pi}{180} \quad (28)$$

$$J_n = \sin(I_n) \quad (29)$$

K는 각 지점의 meridional parts, L는 각 지점의 distance for equator를 나타내고, K_n, L_n은 식 (30), (31)과 같다.

$$K_n = [3437.747 \times \{\ln(\tan(\frac{\pi}{4} + \frac{I_n}{2}))\} - (e^2 \times J_n - e^2 \frac{J_n^3}{3})] \quad (30)$$

$$L_n = aa(1 - \frac{e}{4} - \frac{3}{64}e^2 - \frac{5}{256}e^3)I_n - aa(\frac{3}{8}e + \frac{3}{32}e^2 + \frac{45}{1024}e^3)\sin(2I_n)$$

$$+ aa(\frac{15}{256}e^2 + \frac{45}{1024}e^3)\sin(4I_n) \quad (31)$$

M은 각 지점의 decimal longitude(minutes)를 나타내고, M_n은 식 (32)는 C_n < 0 또는 D_n < 0일 때, 식 (33)은 그 외 조건이고, N_{n,n+1}은 지점 n과 지점 n+1 사이의 difference in latitude(degrees)를 나타내고, 식 (34)와 같다.

$$M_n = 60 \times F_n - ABS(G_n) \quad (32)$$

$$M_n = 60 \times F_n + ABS(G_n) \quad (33)$$

$$N_{n,n+1} = H_{n+1} - H_n \quad (34)$$

O_{n,n+1}은 지점 n과 지점 n+1 사이의 difference in MPs를 나타내고, 식 (35)와 같다.

$$O_{n,n+1} = K_{n+1} - K_n \quad (35)$$

P_{n,n+1}은 지점 n과 지점 n+1 사이의 difference in E, distance를 나타내고, 식 (36)과 같다.

$$P_{n,n+1} = L_{n+1} - L_n \quad (36)$$

Q_{n,n+1}은 지점 n과 지점 n+1 사이의 difference in longitude(minutes)를 나타내고, 식 (37)은 ABS(M_{n+1} - M_n) > 180 × 60일 때, 식 (38)은 그 외 조건일 때를 나타낸다.

$$Q_{n,n+1} = ABS(M_{n+1} - M_n) - 360 \times 60 \quad (37)$$

$$Q_{n,n+1} = M_{n+1} - M_n \quad (38)$$

R_{n,n+1}은 지점 n과 지점 n+1 사이의 course (radians)를 나타내고, 식 (39)는 O_{n,n+1} = 0일 때, 식 (40)은 그 외의 조건일 때를 나타낸다.

$$R_{n,n+1} = \frac{\pi}{2} \quad (39)$$

$$R_{n,n+1} = \arctan(\frac{Q_{n,n+1}}{O_{n,n+1}}) \quad (40)$$

S_{n+1} 은 지점 n 과 지점 $n+1$ 사이의 distance in nmiles(knot miles(6,087ft))를 나타내고, 식 (41)은 $N_{n+1} = 0$ 일 때, 식 (42)는 그 외의 조건일 때를 나타낸다.

$$S_{n+1} = ABS\{Q_{n+1} \times \cos \frac{(I_n + I_{n+1})}{2}\} \quad (41)$$

$$S_{n+1} = ABS\{\frac{P_{n+1}}{\cos(R_{n+1})}\} \quad (42)$$

T_{n+1} 은 지점 n 과 지점 $n+1$ 사이의 bearing T 를 나타내고, 식 (43)은 $N_{n+1} + 0.0000001 < 0$ 일 때, 식 (44)는 $Q_{n+1} + 0.0000001 < 0$ 일 때, 식 (45)는 그 외의 조건일 때를 나타낸다.

$$T_{n+1} = R_{n+1} \times \frac{180}{\pi} + 180 \quad (43)$$

$$T_{n+1} = R_{n+1} \times \frac{180}{\pi} + 360 \quad (44)$$

$$T_{n+1} = R_{n+1} \times \frac{180}{\pi} \quad (45)$$

U_{n+1} 은 지점 n 과 지점 $n+1$ 사이의 between position KP를 나타내고, 식 (46)과 같다.

$$U_{n+1} = S_{n+1} \times 1.85532 \quad (46)$$

V_{n+1} 은 total KP를 나타내고, 식 (47)과 같다.

$$V_{n+1} = V_n(BaseKP) + U_{n+1} \quad (47)$$

이상의 계산식은 그림 5의 계산 알고리즘과 표 3, 4에서 정의한 패러미터 구현을 위한 식이며, 위에서 제안한 식을 이용하여 실제 실험을 하였다.

IV. 실험 및 고찰

해저 광케이블 공사는 해양조사, PLGR, 천해부공사, 매설/포설 단계로 구성된다. 해양조사 단계에서는 해저 광케이블 공사가 이루어질 루트를

선정하게 된다. 그리고 선정된 루트를 따라서 해저 광케이블 공사를 실시하게 된다.

본 논문에서는 현재 해저 광케이블 건설이 이루어질 예정 구간인 부산(송정 : 35° 10.6100 N, 129° 11.8590 E) ~ 일본(후쿠시마 : 32° 18.0000 N, 128° 19.8500 E)간의 구간 중에서 일부분을 실험하였다. 즉 표 3, 4에서 정의된 패러미터를 이용하여 실험한 구체적인 구간은 시작점(Pos_1)이 34° 39.3550 N, 128° 55.6652 E 이고, 마지막 지점(Pos_15)은 34° 34.4510 N, 128° 51.6154 E 이다.

표 5는 해저 광케이블 공사의 많은 작업 경로들에서 임의의 15개 작업경로(Pos_1 - Pos_15) 좌표를 가지고 실험한 구간 항해 누적 거리(between position KP)를 U 패러미터로 나타내었고, 누계 항해 누적 거리(total KP)는 V 패러미터로 나타내어 계산 결과를 보이고 있다.

즉 표 5의 실험 결과에 표현한 패러미터는 표 3, 4의 구성 요소 중에서 해저 광케이블 작업 루트들에서 두 지점 사이의 구간 KP와 작업 시작점(Pos_1)에서 완료 지점(Pos_15)까지의 항해 누적 거리를 앞에서 설계한 알고리즘을 이용하여 측정된 계산 결과를 보이고 있다. 따라서 작업 시작점(Pos_1)에서 완료 1점(Pos_15)까지 총 항해 누적 거리는 11.217km이다. 표 5의 결과를 보면, 해양조사에서 선정된 케이블 루트들에 대한 구간 항해 누적 거리와 총 항해 누적 거리를 정확히 계산하고 있다. 따라서 해저 광케이블 공사에 앞서 사전에 시뮬레이션이 가능하므로 선박 관리 시스템에 효율적으로 이용될 수 있다. 그리고 Pos_9 루트 지점과 Pos_10 루트 지점 사이를 작업 선박이 항해하면서 실제 항해하는 선박의 항해 누적 거리(KP)와 경로 이탈 오차(XTE)에 대하여 실험을 실시하고 결과를 표 6에 나타내었다.

표 6은 해저 광케이블 작업 경로의 9번째 지점(Pos_9)에서 10번째 지점(Pos_10)을 향해서 항해하는 선박의 실제 좌표를 GPS 수신기로부터 입력받아 측정된 두 지점 사이의 구간 항해 누적 거리와 정해진 항로로부터 항해하는 선박의 경로 이탈 오차를 측정된 결과를 나타내고 있다.

표 5. 테스트 결과(1)
Table 5. Test Result(1)

A	B	C	D	E	F	G	U	V
Pos_n	Latitude (도)	Latitude (분, 초)	N, S	Longitude (도)	Longitude (분, 초)	E, W	Between position KP(km)	Total KP(km)
1	B ₁ (34)	C ₁ (39.3550)	D ₁ (N)	E ₁ (128)	F ₁ (55.6652)	G ₁ (E)		V ₁ (0)
2	B ₂ (34)	C ₂ (39.3537)	D ₂ (N)	E ₂ (128)	F ₂ (55.6517)	G ₂ (E)	U ₁₂ (0.021)	V ₂ (0.021)
3	B ₃ (34)	C ₃ (39.3300)	D ₃ (N)	E ₃ (128)	F ₃ (55.3950)	G ₃ (E)	U ₂₃ (0.395)	V ₃ (0.416)
4	B ₄ (34)	C ₄ (39.2871)	D ₄ (N)	E ₄ (128)	F ₄ (55.3230)	G ₄ (E)	U ₃₄ (0.135)	V ₄ (0.551)
5	B ₅ (34)	C ₅ (39.2866)	D ₅ (N)	E ₅ (128)	F ₅ (55.3221)	G ₅ (E)	U ₄₅ (0.002)	V ₅ (0.553)
6	B ₆ (34)	C ₆ (39.0200)	D ₆ (N)	E ₆ (128)	F ₆ (54.8750)	G ₆ (E)	U ₅₆ (0.842)	V ₆ (1.395)
7	B ₇ (34)	C ₇ (38.6050)	D ₇ (N)	E ₇ (128)	F ₇ (54.3750)	G ₇ (E)	U ₆₇ (1.083)	V ₇ (2.478)
8	B ₈ (34)	C ₈ (38.0000)	D ₈ (N)	E ₈ (128)	F ₈ (53.9500)	G ₈ (E)	U ₇₈ (1.294)	V ₈ (3.772)
9	B ₉ (34)	C ₉ (36.0850)	D ₉ (N)	E ₉ (128)	F ₉ (53.0820)	G ₉ (E)	U ₈₉ (3.781)	V ₉ (7.553)
10	B ₁₀ (34)	C ₁₀ (35.0250)	D ₁₀ (N)	E ₁₀ (128)	F ₁₀ (52.4800)	G ₁₀ (E)	U ₉₁₀ (2.165)	V ₁₀ (9.718)
11	B ₁₁ (34)	C ₁₁ (34.7810)	D ₁₁ (N)	E ₁₁ (128)	F ₁₁ (52.3210)	G ₁₁ (E)	U ₁₀₁₁ (0.512)	V ₁₁ (10.23)
12	B ₁₂ (34)	C ₁₂ (34.5870)	D ₁₂ (N)	E ₁₂ (128)	F ₁₂ (52.0900)	G ₁₂ (E)	U ₁₁₁₂ (0.504)	V ₁₂ (10.734)
13	B ₁₃ (34)	C ₁₃ (34.5033)	D ₁₃ (N)	E ₁₃ (128)	F ₁₃ (51.9238)	G ₁₃ (E)	U ₁₂₁₃ (0.297)	V ₁₃ (11.031)
14	B ₁₄ (34)	C ₁₄ (34.5029)	D ₁₄ (N)	E ₁₄ (128)	F ₁₄ (51.9229)	G ₁₄ (E)	U ₁₃₁₄ (0.002)	V ₁₄ (11.033)
15	B ₁₅ (34)	C ₁₅ (34.4510)	D ₁₅ (N)	E ₁₅ (128)	F ₁₅ (51.8200)	G ₁₅ (E)	U ₁₄₁₅ (0.184)	V ₁₅ (11.217)

즉 Pos_n 지점에서 시작하여 선박이 항해하는 위치를 나타내는 패러미터는 Pos_n_n이며, 표 6에서는 Pos_9 지점에서 시작하므로 Pos_9_1에서 Pos_9_20까지를 나타내고 있다. 여기에서 9번 지점과 10번 지점을 선택한 이유는 주어진 작업 경로 중에서 구간 항해 누적 거리가 먼 거리로 충분한 실험 구간이 되기 때문이었다. 또한 경로 이탈 오차의 값 중에서 진행 방향의 오른쪽은 양수 값, 진행 방향의 왼쪽은 음수 값을 갖는다. 따라서 본 실험은 경로의 진행방향에서 왼쪽으로 떨어져서 선박이 항해하였음을 알 수 있다.

표 6의 결과를 보면, 표 5와 같이 케이블 루트들에 대한 구간 항해 누적 거리 및 항해하는 선박이 경로를 얼마나 이탈하였는지를 계산하고 있으며, 본 논문에서 제안한 알고리즘은 현장(필드) 테스트에서도 이상 없이 정확한 계산을 하였다. 특히 표 6에서 주의 깊게 주시하여야 할 부분은 XTE의 값이다. 즉 XTE의 값이 ±10m 이상을 벗어나게 되면 항해하는 선박이 정해진 루트에서 너무 많이 경로를 이탈했다는 것을 의미하며, 작업을 중지하고 다시 시작하여야 한다.

표 6. 테스트 결과(2)
Table 6. Test Result(2)

A	A'	B	C	D	E	F	G	U	V	crs
Pos_n	Pos_n'	Latitude (도)	Latitude (분, 초)	N, S	Longitude (도)	Longitude (분, 초)	E, W	Between position KP(km)	Total KP(km)	XTE KP(km)
9		B ₉ (34)	C ₉ (36.0850)	D ₉ (N)	E ₉ (128)	F ₉ (53.0820)	G ₉ (E)		V ₉ (7.553)	
	9_1	B _{9,1} (34)	C _{9,1} (36.0849)	D _{9,1} (N)	E _{9,1} (128)	F _{9,1} (53.0776)	G _{9,1} (E)	U _{9,1} (0.006721)	V _{9,1} (7.559721)	-0.006
	9_2	B _{9,2} (34)	C _{9,2} (36.0839)	D _{9,2} (N)	E _{9,2} (128)	F _{9,2} (53.0770)	G _{9,2} (E)	U _{9,2} (0.002069)	V _{9,2} (7.56179)	-0.006
	9_3	B _{9,3} (34)	C _{9,3} (36.0833)	D _{9,3} (N)	E _{9,3} (128)	F _{9,3} (53.0767)	G _{9,3} (E)	U _{9,3} (0.001202)	V _{9,3} (7.562992)	-0.006
	9_4	B _{9,4} (34)	C _{9,4} (36.0825)	D _{9,4} (N)	E _{9,4} (128)	F _{9,4} (53.0764)	G _{9,4} (E)	U _{9,4} (0.001552)	V _{9,4} (7.564544)	-0.006
	9_5	B _{9,5} (34)	C _{9,5} (36.0814)	D _{9,5} (N)	E _{9,5} (128)	F _{9,5} (53.0757)	G _{9,5} (E)	U _{9,5} (0.002304)	V _{9,5} (7.566848)	-0.006
	9_6	B _{9,6} (34)	C _{9,6} (36.0810)	D _{9,6} (N)	E _{9,6} (128)	F _{9,6} (53.0753)	G _{9,6} (E)	U _{9,6} (0.000959)	V _{9,6} (7.567807)	-0.007
	9_7	B _{9,7} (34)	C _{9,7} (36.0790)	D _{9,7} (N)	E _{9,7} (128)	F _{9,7} (53.0745)	G _{9,7} (E)	U _{9,7} (0.003907)	V _{9,7} (7.571714)	-0.007
	9_8	B _{9,8} (34)	C _{9,8} (36.0785)	D _{9,8} (N)	E _{9,8} (128)	F _{9,8} (53.0743)	G _{9,8} (E)	U _{9,8} (0.000978)	V _{9,8} (7.572692)	-0.007
	9_9	B _{9,9} (34)	C _{9,9} (36.0774)	D _{9,9} (N)	E _{9,9} (128)	F _{9,9} (53.0736)	G _{9,9} (E)	U _{9,9} (0.002304)	V _{9,9} (7.574996)	-0.007
	9_10	B _{9,10} (34)	C _{9,10} (36.0767)	D _{9,10} (N)	E _{9,10} (128)	F _{9,10} (53.0732)	G _{9,10} (E)	U _{9,10} (0.001435)	V _{9,10} (7.576431)	-0.007
	9_11	B _{9,11} (34)	C _{9,11} (36.0756)	D _{9,11} (N)	E _{9,11} (128)	F _{9,11} (53.0723)	G _{9,11} (E)	U _{9,11} (0.002460)	V _{9,11} (7.578891)	-0.007
	9_12	B _{9,12} (34)	C _{9,12} (36.0751)	D _{9,12} (N)	E _{9,12} (128)	F _{9,12} (53.0721)	G _{9,12} (E)	U _{9,12} (0.000978)	V _{9,12} (7.579869)	-0.008
	9_13	B _{9,13} (34)	C _{9,13} (36.0744)	D _{9,13} (N)	E _{9,13} (128)	F _{9,13} (53.0719)	G _{9,13} (E)	U _{9,13} (0.001333)	V _{9,13} (7.581202)	-0.008
	9_14	B _{9,14} (34)	C _{9,14} (36.0731)	D _{9,14} (N)	E _{9,14} (128)	F _{9,14} (53.0712)	G _{9,14} (E)	U _{9,14} (0.002639)	V _{9,14} (7.583841)	-0.008
	9_15	B _{9,15} (34)	C _{9,15} (36.0725)	D _{9,15} (N)	E _{9,15} (128)	F _{9,15} (53.0709)	G _{9,15} (E)	U _{9,15} (0.001202)	V _{9,15} (7.585043)	-0.008
	9_16	B _{9,16} (34)	C _{9,16} (36.0714)	D _{9,16} (N)	E _{9,16} (128)	F _{9,16} (53.0701)	G _{9,16} (E)	U _{9,16} (0.002377)	V _{9,16} (7.58742)	-0.008
	9_17	B _{9,17} (34)	C _{9,17} (36.0707)	D _{9,17} (N)	E _{9,17} (128)	F _{9,17} (53.0696)	G _{9,17} (E)	U _{9,17} (0.001505)	V _{9,17} (7.588925)	-0.008
	9_18	B _{9,18} (34)	C _{9,18} (36.0691)	D _{9,18} (N)	E _{9,18} (128)	F _{9,18} (53.0689)	G _{9,18} (E)	U _{9,18} (0.003155)	V _{9,18} (7.59208)	-0.008
	9_19	B _{9,19} (34)	C _{9,19} (36.0683)	D _{9,19} (N)	E _{9,19} (128)	F _{9,19} (53.0685)	G _{9,19} (E)	U _{9,19} (0.001604)	V _{9,19} (7.593684)	-0.008
	9_20	B _{9,20} (34)	C _{9,20} (36.0673)	D _{9,20} (N)	E _{9,20} (128)	F _{9,20} (53.0678)	G _{9,20} (E)	U _{9,20} (0.002142)	V _{9,20} (7.595826)	-0.008
중략										
10		B ₁₀ (34)	C ₁₀ (35.0250)	D ₁₀ (N)	E ₁₀ (128)	F ₁₀ (52.4800)	G ₁₀ (E)		V ₁₀ (9.718)	

V. 결 론

본 논문에서는 해저 광케이블 건설 사업에서 작업을 원활하게 수행하기 위해서 작업 경로 사이의 구간 항해 누적 거리(KP), 작업 시작점에서 완료 지점까지의 누계 KP(total KP), 그리고 항해하는 선박의 경로 이탈 오차 계산을 위한 기하 알고리즘에 관한 연구이다. 이를 위해서 해저 광케이블 작업에 있어서 데이터 취득을 위해서는 GPS 수신기를 기본 장비로 이용을 하였다. 항해하는 선박의 정확한 측위를 위해서는 구면 위의 호 길이 측정 기법 및 지구상의 거리 근사 기법을 검토하였다. 그리고 실질적인 항해 누적 거리 및 경로 이탈 오차 측정을 위해서 GPS 위성 측량에서 사용하고 있는 WGS-84 타원체를 적용한 알고리즘을 제안하였고, 제안된 알고리즘을 바탕으로 작업 경로 사이의 구간 KP, 누계 KP 및 선박의 경로 이탈 오차를 실험 측정하였다.

데이터의 처리 속도 및 정확도는 해저 광케이블 작업을 위해서 항해하는 선박 속도에 비추어 볼 때 만족한 결과를 얻을 수가 있었다. 또한 항해 누적 거리와 실제 grapnel이 위치한 항해 누적 거리를 모두 표현함으로써 작업의 정확도를 높일 수가 있으며, 항해하는 선박의 안정성 확보 차원에서 해저 광케이블 작업 경로에서 이탈한 선박의 위치 거리를 표현하였다.

본 논문에서 제시한 기하 알고리즘을 이용한 항해 누적 거리, 경로 이탈 오차 측위에 관한 연구는 실제 현장 테스트 결과를 볼 때, 해저 광케이블 건설에 필수적인 PLGR 작업을 위한 측위 계산 기법으로 손색이 없음을 확인할 수 있었다. 향후 연구로는 지구의 중력장과 지구형상을 근거리 하여 1984년에 만들어진 지심 좌표계로서 지구전체를 대상으로 하는 세계 공통 좌표계인 WGS-84 타원체를 이용하여 선박의 누적 항적도(track map)를 나타내고, 다양한 해양환경변화를 적절히 관측하고, 실시간 모니터링하기 위한 이용 가능한 센서의 활용을 확대하고, 수심계(echo-sounder)를 추가하여 수심 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 모듈을 추가하는 한편, 해양원격탐사 자료의 바른 해석을 위해 종합

적인 관측망의 일부로 개발되어야 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 박운용 외, Real-time DGPS/DGLONASS에 의한 차량의 동적위치결정에 관한 연구, 한국측량학회지, 제19권, 제3호, pp.301-308, 2001. 9
- [2] 배장식 외, GPS 항법 컴퓨터를 위한 실시간 운영체제의 설계 및 구현, 정보처리학회논문지A(The KIPS Transactions : Part A) 2001. 12 v.8-A, n.4, pp.429-438
- [3] David Wells, Guide to GPS Positioning, Canadian GPS Associate, 1999.
- [4] Elliott D. Kaplan, Understanding GPS : Principles and applications Artech House, Boston, 1996.
- [5] National Marine Electronics Association, NMEA 0183 Standard for Interfacing Marine Electronics Devices, 1983. 3.
- [6] National Marine Electronics Association, NMEA 0183 Ver. 2.0, 1992.
- [7] 조선·해양 기자재 연구 센터, 통상산업부, “종합항법장치 기술 개발에 관한 연구(1차년도 중간 보고서)”, 1995. 10.
- [8] 지피에스데이타넷(주), Standard for Interfacing Marine Electronic Divices NMEA 0183 Version 2.00, p2-6, p18-38, 2001
- [9] 광재하, 김천근, GPS 위성측량의 이해, 부산정보대학 출판부, pp.105-115, 1999. 8
- [10] Kyle Loudon, Mastering Algorithms with C, ISBN 1-56592-453-3, 1999. 8
- [11] 허욱, C로 구현한 알고리즘, ISBN 89- 7914-063-0, 2000. 4
- [12] 이태오, 정성훈, 임재홍, 해저 광케이블 작업을 위한 모니터링 시스템의 설계 및 구현, 2002년도 춘계종합학술대회 한국해양정보통신학회, 2002. 5. 24
- [13] 한국해양대학교, PLGR(Pre Lay Grapnel Run) 작업을 위한 시뮬레이터 및 후처리 시스템 개발, 2002년도 중소기업 기술혁신개발사업 위탁개발 최종보고서, 2003. 1

- [14] 지피에스테이타넷(주), 해저케이블공사 관리용 DGPS, Gyro, Echosounder 연동 연속 해저토질 진단강도 모니터링 소프트웨어 개발, 2002년도 중소기업 기술혁신개발사업 최종보고서, 2003. 1

저자소개



이태오(Tae-Oh Lee)

1997년 한국해양대학교 전자통신 공학과(공학사)

1999년 한국해양대학교 전자통신 공학과(공학석사)

2001년 한국해양대학교 전자통신공학과(박사수료)

1997-1999년 한국해양대학교 전자통신공학과 조교

1999-2000년 신라대학교 정보통신공학과 시간강사

2000-현재 동명정보대학교 정보공학부 컴퓨터공학과 기간제 전임강사

※관심분야: 위성 및 선박통신, 네트워크, GPS



임재홍(Jae-Hong Yim)

1986년 서강대학교 전자공학과(공학사)

1988년 한양대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1995년 한양대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1995-현재 한국해양대학교 전파·정보통신공학과 부교수

※관심분야: 컴퓨터 네트워크, 통신 프로토콜, 임베디드 시스템, 분산 컴퓨팅